



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

Mesures fotomètriques amb una càmera fotogràfica

Marta Busquet Pi

Tutor: Jaume Escofet Soterias
Departament d'Òptica i Optometria

25 de juny de 2015



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr./Sra. Jaume Escofet Soteras, com a tutor/a del treball.

CERTIFICA

Que el Sr./Sra. Marta Busquet Pi,
ha realitzat sota la seva supervisió el treball Mesures fotomètriques amb
una càmera fotogràfica que es recull en aquesta memòria per optar al títol
de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo aquest certificat.



Jaume Escofet Soteras
Tutor/a del treball

Terrassa, 10 de juny de 2015



GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

Mesures fotomètriques amb una càmera fotogràfica

RESUM

En aquest treball s'ha mesurat la resposta fotomètrica de dues càmeres fotogràfiques diferents, una Canon EOS 500D i una Nikon V1. En primer lloc s'han mesurat les respectives Opto Electronic Conversion Function (OECF) mitjançant el test Stouffer i la carta de gris Kodak atenent al format de l'arxiu de registre, cru (RAW) o comprimit (JPEG). La resposta de les càmeres ha estat semblant en el rang lineal de valors d'exposició (EV) que abasten pels diferents tipus d'arxius. En segon lloc s'han utilitzat les càmeres fotogràfiques anteriors com a luminancímetres. Per això ha calgut calibrar prèviament les càmeres amb l'ajuda del luminancímetre Minolta LS-100. Els valors de luminància i els valors que determinen l'exposició de la càmera en forma de quocient N^2/t , on N és el nombre de diafragma i t , temps d'exposició, estan fortament correlacionats per una funció lineal. Finalment s'han relacionat els diferents valors de luminància d'una escena amb els nivells de gris d'una imatge d'aquesta escena. S'ha calibrat l'escena a partir de l'exposició i la luminància que presenta la carta de gris Kodak. Els valors de luminància i els valors de nivell de gris estan fortament correlacionats per una funció exponencial.

En este trabajo se ha medido la respuesta fotométrica de dos cámaras fotográficas diferentes, una Canon EOS 500D y una Nikon V1. En primer lugar se han medido las respectivas Opto Electronic Conversion Function (OECF) mediante el test Stouffer y la carta de gris Kodak atendiendo al formato del archivo de registro, crudo (RAW) o comprimido (JPEG). La respuesta de las cámaras ha sido similar en el rango lineal de valores de exposición (EV) que abarcan los diferentes tipos de archivos. En segundo lugar se han utilizado las cámaras fotográficas anteriores como luminancímetros. Ha sido necesario calibrar previamente las cámaras con la ayuda del luminancímetro Minolta LS-100. Los valores de luminancia y los valores que determinan la exposición de la cámara en forma de cociente N^2/t , N es el número de diafragma y t tiempo de exposición, están fuertemente correlacionados por una función lineal. Finalmente se han relacionado los diferentes valores de luminancia de una escena con los niveles de gris de esta escena. Se ha calibrado la escena a partir de la exposición y la luminancia que presenta la carta de gris Kodak. Los valores de luminancia y los valores de nivel de gris están fuertemente correlacionados por una función exponencial.

In this study is measured the photometric response of two different cameras, a Canon EOS 500D and Nikon V1. First has measured the respective Opto Electronic Conversion Function (OECF) by Stouffer test and according to Kodak gray card format of the log file, raw (RAW) or compressed (jpeg). The response was similar in both cameras in the linear range of exposure value (EV) that cover the different types of files. Secondly cameras have been used as luminancímetros. It has been necessary to previously calibrate the cameras with the help of Minolta LS-100 luminance. Values of luminance and the values that determine the exposure of the camera in a relation coefficient N^2/t , where N is the number of diaphragm and t exposure time are strongly correlated by a linear function. Finally, we obtain the distinct values of luminance of the scene with gray levels by the image of the scene. We calibrate the scene from the exhibition and present the luminance of gray card Kodak. The values of luminance and grayscale values are strongly correlated to an exponential function.

SUMMARY

The camera is an optical system that records images permanently. The amount of light reaching the sensor is regulated by the diaphragm and the light is captured by the sensor. The figure 1 shows a diagram of the camera which shows the lens (ob), the diaphragm (d) and the sensor (S) and shutter (Or).

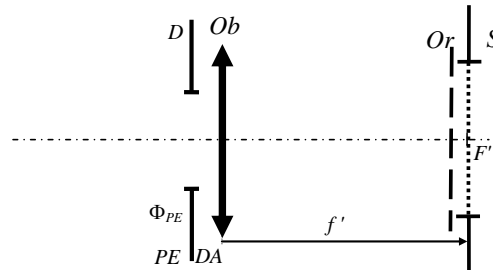


Figure1. Diagram of the photographic camera

The scale that measures the amount of light received by the sensor is exposure H , which is defined by the product of the illumination E and the exposure time t .

$$H = E \cdot t$$

The illuminance depends among other parameters, on the number diaphragm of the lens. With this, the exposure is expressed as:

$$H = K \frac{t}{N^2}$$

Where K is a proportionality constant.

Tables 1 and 2 show the numbers of common diaphragm aperture and the series of time in fraction more often used. A jump in the number of diaphragm aperture or in the time represents a leap in time by a factor 2 in the exhibition.

Table1. Series numbers diaphragm, N . The series of N^2 varies in a geometric progression of reason 2.

N	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16	22	32
-----	-----	---	-----	---	-----	---	----	----	----	----

Table 2. Series time. The number varies a geometric progression of reason 2.

t (s)	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2
---------	-------	-------	-------	------	------	------	-----	-----	-----

Nowadays, most digital cameras have more accurately exposure increase or decrease in the number of 1/3 diaphragm or exposure time. This is because human eye is unable to distinguish values less than 1/3 diaphragm.

The camera photometer suggests for a given sensor sensitivity, a value of N and t so that the picture is well exposed. The combinations of values N and t , can be a multiple for a correct exposure.

The binomial N and t combined into a single number called exposure value (EV). This allows to express in a same value different combinations of time values and number of diaphragm aperture associated with the same exposure. EV is defined as:

$$EV = \log_2 \left(\frac{N^2}{t} \right) \approx 3,33 \log_{10} \left(\frac{N^2}{t} \right)$$

The last factor that affects the lighting of the photographic image is the sensitivity of the sensor. It is measured in ISO; to higher sensitivity, less lighting is needed.

Consequently, to adjust the amount of light reaching the camera it is needed to consider the triangle of the three elements; N diaphragm aperture, t speed and S sensitivity sensor.

The photometer built into the camera measures the reflected light from the area of interest; according to the calibration of the camera, different types of measure can be chosen to prevent incorrect exposures. There are four different types; however in our case it is only used the metering where the light measurement is the cone of the image center, with an approximately 3% of diameter.

Luminance is the scale that measures the brightness of objects. Photometry establishes that the object luminance L is proportional to exposure H and time t , and that it is inversely proportional to the number N^2 diaphragm aperture. Assuming that H is constant, we can relate them:

$$L = K \cdot N^2 / t$$

Where K is different from the constant expressed above.

A first calibration of the cameras Canon EOS 500D and Nikon V1, according to the curve OCEF (opto-electric Conversion Function) was carried out in the experimental work. Two different methods were used: the Stouffer test and the medium gray card of from Kodak. The Stouffer test consists of a wedge of gray on the light measurement is obtained from the transmission of light. In the gray card instead, the measurement is realised through reflection diffused light.

Both methods have determined that the dynamic range of the cameras is 4EV. The work performed also checked whether the values obtained in OCEF had a different aspect depending if reduced format like JPEG (8-bit) or if non-reduced format like RAW (16-bit) was used. With several measures carried out; it is determined that there is no difference in appearance but yes in rich tonal, because the RAW format preserves a rich tonal higher.

With the Canon EOS 500D and with the help of the medium gray card; a curve of gray levels N_g depending on the value of exposure to different levels of exposure EV has been represented. Thus has determined that the representation of the curve N_g and EV moves 1EV for each jump in diaphragm aperture, this confirms what we already knew about the minimum luminance difference that the human eye can perceive.

Regarding the light meter of the camera has been verified, by capturing images with the binomial N and t , that natural scenes have a reflectance medium gray (18%). This states that the camera is suited for using the binomial N and t where de middle gray level is 128 in 8-bit format and 32768 in 16-bit format.

It has been determined the relationship between the luminance value L measured with a luminance meter and the calculation of exposure N^2/t made by the camera. To determine the relationship between the two cameras used, the Canon EOS 500D and Nikon V1, with the help of Minolta LS-100 luminance meter. Experimental measurements have been made on the outside with a natural scene and other measures have also been using colored cards, considered lambertian diffusers, which have different luminance. Measures to cards of colors have been made in the laboratory under controlled parameters and a low level of illumination but also outside with sunlight, to achieve a scale much lighting higher.

In all cases where cameras have been used as a luminance meter, the measures have been taken with ISO 100, aim at the longest focal distance as possible and the metering mode.

The results in all cases show a linear relationship between the luminance L , measured by the luminance meter and the exposure value N^2/t calculated by the camera.

For the measures of the outside natural scene, the same area has been taken in both cases, to achieve closest results as possible. With results obtained, the equations that adjust to the line are: is the Nikon V1 is $L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 21$ and the Canon EOS 500D

$$\text{is } L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 23$$

Regarding the measures taken with lambertian diffusers at laboratory with Nikon V1 obtain an equation of $L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 4.21$, however the Canon EOS 500D obtain an equation $L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 4.8$.

With the lambertian diffusers outside the Nikon V1 has an equation that is $L = 0.15 \frac{N^2}{t} - 373.6$. We can say that the result is equal to the case of natural scene with the same camera as we consider the value of -373.6 as zero given the scale of values which is 0 or 1400 lux.

With the Canon EOS 500D the different between equations is more significant. The equation that fits the line $L = 0.16 \frac{N^2}{t} - 224.2$ is not close to any of the above equations given the same camera. In Table 3 there is a comparison of the equations that provides the visibility and understanding of the values mentioned above.

Relations of adjustment from the two cameras are different and there are remarkable differences depending whether the measures have been taken in the laboratory or outside. The big difference in the relations of adjustment is due to the difference in the

lighting range; for this reason, more measures need to be repeated in order to obtain statistically reliable results.

Table 3. Comparison of equations that fit the lines of the L and N^2/t equations.

	Comparative table of results L and N^2/t		
	Natural scenen	Cards at Laboratory	Cards outside
Nikon V1	$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 21$	$L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 4,21$	$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 373,6$
Canon EOS 500D	$L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 23$	$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 4,8$	$L = 0,16 \frac{N^2}{t} - 224,2$

The error analysis that occurs between the various measures of luminance displays an error of 10% with Canon EOS 500D and 6% for the measures taken with Nikon V1. So determining who can use the camera as a luminance meter if accepted a margin of error of 10% in case that does not have a luminance meter to undertake measures luminance properly.

To finish the experimental work, luminance values has been linked with various values of gray values obtained from a photographic image. The measurement was made in the laboratory under controlled parameters, sensor sensitivity ISO 100 and metering aperture priority; the exposure was measured with the various cards mentioned previously by the cameras Canon EOS 500D and the Nikon V1.

The results experimentally obtained show an exponential relationship between the measured luminance value of the luminance meter and the grays value of the image. This shows that it is impossible to get luminance from gray levels without the help of a luminance meter. To do this it is need to calibrate the camera with the gray card.

Índex de continguts

1. Objectius del treball	8
2. MARC TEÒRIC	
2.1 La fotometria	9
2.1.1. Flux Iluminós	9
2.1.2. Intensitat Iluminosa	9
2.1.3. Angle sòlid	9
2.1.4. Il·luminació	10
2.1.5. Luminància	10
2.1.6. Difusor perfecte o Difusor Lambertian	10
2.1.7. Luminància d'un difusor perfecte degut a la il·luminació E	10
2.2. Fotometria de la imatge fotogràfica	11
2.2.1. L'exposició	11
2.2.2. Mesura de l'exposició	18
2.3. Mesura de la llum.	26
2.3.1. La càmera digital com a dispositiu de mesura absoluta.	26
2.4. Relació de la Luminància i l'Exposició	28
2.5. La OECF d'una càmera fotogràfica	29
2.5.1. La OECF amb el Test Stouffer	29
2.5.2. Metodologia test Stouffer	32
2.5.3. La OECF mitjançant la carta gris mig Kodak.	33
3. RESULTATS EXPERIMENTALS	
3.1. Resultats Experimentals test Stouffer	34
3.2. Resultats Carta de gris Kodak	36
3.3. Resultats del Nivells de gris respecte els Valors d'Exposició.	45
3.4. Luminància respecte N^2/t de la càmera en una escena Natural	48
3.5. Luminància respecte N^2/t de la càmera amb difusors lambertians	53
3.5.1. Luminància respecte N^2/t al laboratori	53
3.5.2. Luminància respecte N^2/t a l'exterior	57
3.5.3. Comparació de les equacions que relacionen L i N^2/t	59
3.6. Relació del nivells de gris i luminància dels difusors lambertians	60
3.6.1. Relació del nivells de gris i luminància al laboratori	60
3.6.2. Relació del nivells de gris i luminància a l'exterior.	62
4. Conclusions	63
5. Bibliografia	65

1. Objectius del treball

- Conèixer i comprendre el funcionament del fotòmetre de la càmera fotogràfica.
- Conèixer les aplicacions del test Stouffer i la carta de gris en les mesures fotomètriques d'una càmera.
- Realitzar la mesura del rang dinàmic de la càmera fotogràfica mitjançant el test de Stouffer i la carta de gris.
- Mesurar experimentalment luminàncies amb la càmera fotogràfica a partir dels valors de gris d'una imatge.
- Conèixer el revelat d'arxius RAW mitjançant el plugin Camera RAW 7.0 d'Adobe Photoshop
- Aplicar tècniques de mesura mitjançant el software ImageJ; utilització del full de càlcul Microsoft Excel per la representació dels resultats i els càlculs de la corresponents representacions.
- Dur a terme mesures d'exposició amb la càmera fotogràfica per utilitzar-la com a luminàncímetre en tot tipus d'escenes.
- Relacionar les mesures de luminància amb els valors de gris d'una imatge amb difusors perfectes de diversos tons tant al laboratori com a l'exterior.

2. MARC TEÒRIC

2.1 La fotometria

La fotometria^[9] és la mesura de la llum que pot detectar l'ull humà. Es limita a l'espectre electromagnètic del visible que correspon a un rang de longituds d'ona compreses entre 360nm i 830nm.

La radiometria en canvi estudia l'energia radiant de radiació electromagnètica per qualsevol longitud d'ona.

A continuació descriurem algunes de les magnituds fotomètriques que s'utilitzaran en el transcurs del treball.

2.1.1. Flux Iluminós

El flux Iluminós F , és el flux energètic o radiant ponderat per valors de la corba de sensibilitat espectral del ull humà, la seva unitat és el lumen (lm) i s'expressa de manera contínua com:

$$F = K \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_e(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

On $W_e(\lambda)$ és la densitat espectral de la radiació i $V(\lambda)$ és la sensibilitat espectral fotòpica.

Si la distribució és discontinua la seva forma és:

$$F = K \sum_{\lambda_i=\lambda_1}^{\lambda_i=\lambda_n} V(\lambda_i) F_e(\lambda_i) \quad (2)$$

On $F_e(\lambda_i)$ és el flux energètic (potència) per la longitud d'ona λ_i , K és una constant de valor $K=683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$ que relaciona les magnitud radiomètriques amb les fotomètriques.

2.1.2. Intensitat Iluminosa

La intensitat Iluminosa I , és la quantitat de flux Iluminós dF , que emet una font per unitat d'angle sòlid $d\Omega$, és defineix com:

$$I = \frac{dF}{d\Omega} \quad (3)$$

La seva unitat en el SI d'unitats és la candela (cd) on $1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ srad}}$.

Una candela és la intensitat Iluminosa que irradia d'una espelma, que són 1/683 watts Iluminosos en un angle sòlid, dit d'una altre manera es necessitarien 683 espelmes per aconseguir 1 watt de potència radiant de llum.

2.1.3. Angle sòlid

L'angle sòlid és la porció de l'espai limitada per una superfície cònica o piramidal tancada. És l'equivalent tridimensional del radi i es defineix com l'esplai limitat per la superfície entre una semirecta d'origen fix, recorre una línia tancada. La seva unitat és l'estereoradian (sr) i s'expressa com:

$$\Omega = \frac{S_{\perp}}{R^2} \quad (4)$$

On S_{\perp} és la projecció de l'àrea de la porció d'esfera S del radi R .

2.1.4. Il·luminació

La il·luminació E , és el flux lluminós dF , que incideix sobre una unitat de superfície dS' , la seva unitat és el lux (lx), es defineix com:

$$E = \frac{dF}{dS'} \quad (5)$$

La seva unitat en el SI d'unitats és $1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}$.

2.1.5. Luminància

La luminància L , és la intensitat emesa I_{θ} , per unitat de superfície S_{\perp} , prenent la superfície emissora perpendicular a la direcció de propagació. La unitat de mesura en SI és el nit (nt); $1 \text{ nt} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$. La luminància s'expressa com:

$$L = \frac{dI_{\theta}}{dS_{\perp}} = \frac{dI_{\theta}}{dS_{\perp} \cos \theta} \quad (6)$$

Quan la font de llum emet uniformement en tota la superfície l'expressió és $L = \frac{I_{\theta}}{S \cos \theta}$.

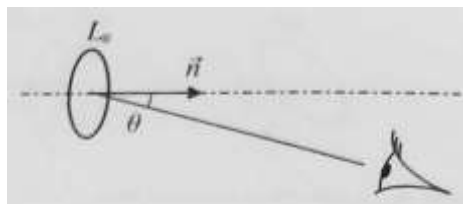
2.1.6. Difusor perfecte o Difusor Lambertian

Amb els emissors o difusors perfectes la luminància no varia segons la direcció o punt de mesura, és independent de θ . De manera que:

$$L = \frac{I_{\theta}}{S} \quad (7)$$

D'on s'expressa la llei de Lambert, per a emissors o difusors perfectes:

$$I_{\theta} = I_0 \cos \theta \quad (8)$$



Imatge. Variació de la il·luminació amb la direcció d'observació.

2.1.7. Luminància d'un difusor perfecte degut a la il·luminació E

Si considerem un emissor lambertian perfecte la luminància que presenta es deguda al flux lluminós incident en la superfície.

Si considerem el flux emès en l'espai i l'igualem a la luminància d'un difusor perfecte de coeficient de reflexió difusa ρ que rep una il·luminació $E^{[9]}$:

$$L = \frac{\rho E}{\pi} (\text{cd/m}^2) \quad (9)$$

2.2. Fotometria de la imatge fotogràfica

2.2.1. L'exposició

En un sistema òptic la il·luminació de la imatge depèn de la quantitat de llum que passa a través de l'objectiu. El dispositiu encarregat de regular la quantitat de llum que incideix en la imatge és el diafragma. La figura 1, mostra l'esquema d'una càmera fotogràfica en què es mostren l'objectiu *Ob*, el diafragma *D* i el sensor *S*.

Es defineix l'obertura relativa *AR* com la relació entre el diàmetre de la pupil·la d'entrada Φ_{PE} i la focal del objectiu, f' .

$$AR = \frac{\Phi_{PE}}{f'} \quad (10)$$

Es defineix el nombre de diafragma $f/\#$ o *N* com la inversa de l'obertura relativa.

$$f/\# = N = \frac{1}{AR} = \frac{f'}{\Phi_{PE}} \quad (11)$$

La quantitat de llum que travessa l'objectiu depèn de la superfície de l'obertura per on passa, és proporcional a Φ^2_{PE} . D'on es dedueix que la il·luminació de la imatge és proporcional a AR^2 o inversament proporcional a N^2 .

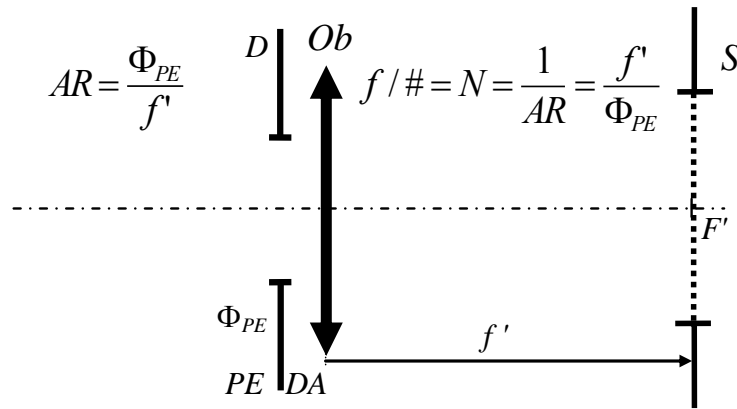


Figura 1. Obertura relativa, *AR*, i nombre de diafragma, *N*.

Quan l'objecte a fotografiar és, *O* i la imatge que forma l'objectiu sobre el sensor, *O'* (Figura 2). La il·luminació *E* en un petit entorn al voltant de la imatge axial *O'* ve donada per:

$$\tau \pi L \sin^2 \sigma = \tau \frac{\pi L}{4N^2(1-m)^2} \quad (12)$$

on τ és la transmissió de l'objectiu, *L* la luminància de l'objecte, *N* el nombre de diafragma i *m* ($m < 0$) l'augment lateral entre els elements conjugats *O* i *O'*.

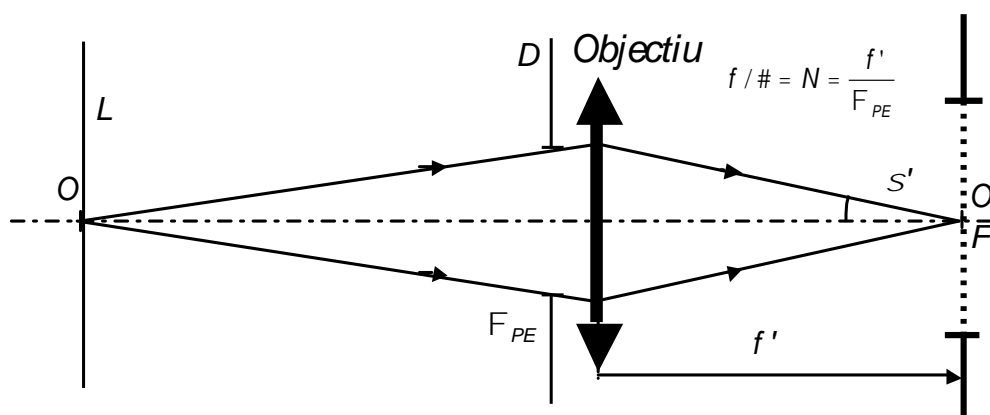


Figura 2. Il·luminació de la imatge fotogràfica.

La magnitud que mesura la quantitat de llum que rep el sensor és l'exposició H .

Es defineix l'exposició H , com el producte de la il·luminació E pel temps exposició t .

$$H=Et \quad (13)$$

Quan substituïm (13) a (14) resulta:

$$H = \tau \frac{\pi L}{4N^2(1-m)^2} \quad (14)$$

En el cas d'objectes llunyans l'augment és molt petit ($m \approx 0$). L'exposició en un entorn de la imatge axial O' serà:

$$H = \tau \frac{\pi L}{4N^2} t \quad (15)$$

Si tenim en compte que $\tau_i L$ no depenen del sistema fotogràfic, l'exposició es pot expressar de manera més senzilla com:

$$H = K \frac{t}{N^2} \quad (16)$$

On K és una constant que val:

$$K = \frac{\tau\pi L}{4} \quad (17)$$

L'equació (16) és coneguda també com la llei de reciprocitat. Aquesta llei estableix que l'exposició H és directament proporcional al temps t i inversament proporcional al nombre de diafragma al quadrat N^2 . D'aquesta manera l'exposició queda definida pel binomi N i t .

D'acord amb l'equació (16) si es vol doblar l'exposició del sensor, $H'=2 H$, s'haurà de doblar el temps d'exposició de manera que el nou temps t' sigui $t'=2 t$, o bé disminuir el nombre de diafragma al valor N' de manera que es compleixi:

$$N^{\prime 2} = \frac{N^2}{2} \quad (18)$$

Els valors d'exposició es presenten en forma de dues sèries (una per a cada element del binomi N i t).

Les taules 1 i 2 mostren les sèries corresponents a cada un dels elements del binomi N i t .

Taula 1. Sèrie de nombres de diafragma N . La sèrie de N^2 varia en una progressió geomètrica de raó 2. La sèrie N varia en una progressió geomètrica de raó $\sqrt{2}$.

N^2	2	4	8	16	32	64	128	256	512
N	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	16	22

Taula 2. Sèrie del temps. La sèrie varia en una progressió geomètrica de raó 2.

$t(s)$	1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2
--------	-------	-------	-------	------	------	------	-----	-----	-----

En el cas d'exposicions llargues la cambra ha d'acoblar-se a un trípode, si no, la foto pot de sortir "moguda". Com a regla general es pren que si el temps d'exposició és menor que la inversa de la focal de l'objectiu la presa necessitarà un trípode.

La figura 3 mostra uns nombres de diafragma on es redueix l'obertura en cada pas, de la mateixa manera que l'exposició es redueix a la meitat.

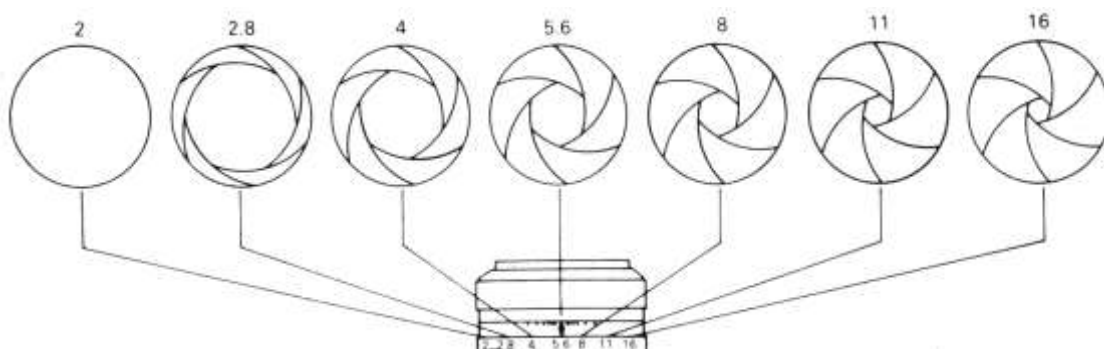


Figura 3. Números de diafragma N i amb les corresponents obertures.

Hi ha moltes combinacions del binomi N i t que presenten un mateix valor d'exposició H . L'elecció de cada valor del binomi que presenta la mateixa exposició dependrà del criteri del fotògraf. La figura 4 mostra dos valors diferents del binomi N - t corresponent a una mateixa exposició.

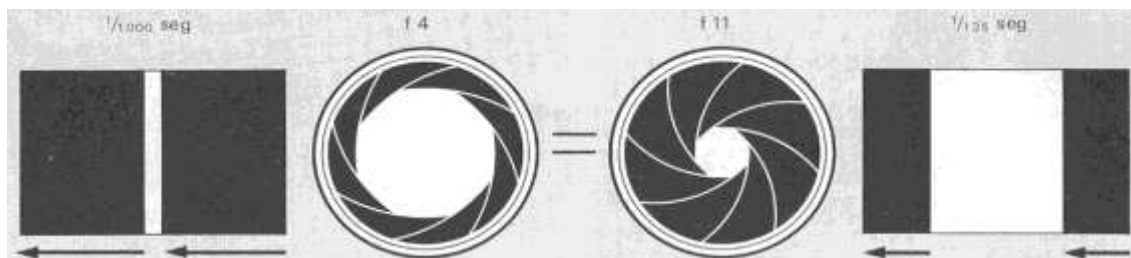


Figura 4. Relació de reciprocitat entre $f / 4$; $1/1000$ i $f / 11$; $1/125$.

D'acord amb (16), la relació entre t i N que manté el mateix valor d'exposició ve donada per:

$$\frac{t_1}{N_1^2} = \frac{t_2}{N_2^2} \quad (19)$$

Podem dir, que els diferents valors que mantenen la reciprocitat en l'exposició d'una imatge tan sols es basa en multiplicar i dividir per 2.

Actualment la majoria de càmeres digitals presenten l'exposició de forma més precisa en augmentar o disminuir en 1/3 el nombre de diafragma o el temps d'exposició^(*).

La sèrie de temps i de diafragmes en augments de 1/3 es mostren a les taules 3 i 4.

Taula 3. Sèrie de temps amb augments de 1/3 del valor d'exposició.

$t(s)$	1/1000	1/800	1/640	1/500	1/400	1/320	1/250	1/200	1/160
$t(s)$	1/125	1/100	1/80	1/60	1/50	1/40	1/30	1/25	1/20
$t(s)$	1/15	1/13	1/10	1/8	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2,5

Taula 4. Sèrie de diafragmes amb augments de 1/3 del valor d'exposició.

N	1,4	1,6	1,8	2	2,3	2,5	2,8	3,2	3,5	4	4,5	5,0	5,6
N^2	2	2,6	3,1	4	5,1	6,2	8	10,2	12,4	16	20	25	32
N	6,3	7,1	8	9	10	11	13	14	16	18	20	22	25
N^2	40	50	64	80	100	128	160	200	256	320	400	512	640

Els valors de N i t es combinen en un sol nombre anomenat valor d'exposició EV . Aquest número permet expressar en un mateix valor les diferents combinacions de temps i nombre de diafragma associades a una mateixa exposició. Es defineix l' EV com:

$$EV = \log_2 \left(\frac{N^2}{t} \right) \approx 3,33 \log_{10} \left(\frac{N^2}{t} \right) \quad (20)$$

(*) Això es degut a que l'ull humà no percep cap diferència en mirar per transil·luminació dues diapositives iguals amb una diferència d'exposició d'igual o menor que 1/3 de diafragma.

Taula 5. Valors d'exposició per a diferents valors del nombre de diafragma i el temps d'exposició.

EV	f/1,0	f/1,4	f/2,0	f/2,8	f/4,0	f/5,6	f/8,0	f/11	f/16	f/22
t=4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
t=2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
t=1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t=1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t=1/4	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
t=1/8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t=1/15	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t=1/30	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
t=1/60	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
t=1/125	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
t=1/250	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
t=1/500	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

La taula 5. mostra els valors d'exposició corresponents a diferents números de diafragma i temps d'exposició. S'han marcat en colors diferents els valors del binomi que corresponen a un mateix EV. Es comprova que un augment d'1 unitat (1 EV) en el valor d'exposició ($\Delta EV = +1$) correspon a un salt fins al proper número de diafragma superior o un salt fins al proper valor inferior de temps. De la mateixa manera un augment de 2 unitats ($\Delta EV = +2$) correspondrà a dos salts i així successivament.

Cal Destacar que quan $\Delta EV > 0$ la imatge disminueix la seva intensitat, mentre que quan $\Delta EV < 0$ la imatge augmenta la seva intensitat.

La figura 5. mostra l'aspecte de cinc imatges amb diferents EV. Les imatges s'han realitzat efectuant un bracketing. L'increment del valor d'exposició va des $\Delta EV = +2$ fins a $\Delta EV = -2$.



a) f/11; t=1/1250
EV=17,23; $\Delta EV = +2$

b) f/11; t=1/640 EV=16,23; $\Delta EV = +1$



c) $f/11$; $t=1/320$; $EV=15,23$; $\Delta EV = 0$



d) $f/11$; $t=1/160$;
 $EV=14,23$; $\Delta EV = -1$

e) $f/11$; $t=1/60$;
 $EV=13,23$; $\Delta EV = -2$

Figura 5. a) i b) Imatges subexposades ($\Delta EV = +2$ i $\Delta EV = +1$). c) Imatge amb l'exposició adequada ($\Delta EV = 0$). d) i e) Imatges sobreexposades ($\Delta EV = -1$ i $\Delta EV = -2$).

Finalment, hi ha un altre factor que també afecta la il·luminació de la imatge. Es tracta de la sensibilitat del sensor.

La sensibilitat del sensor es mesura en l'escala $ISO^{(*)}$. Amb més sensibilitat (major nombre d' ISO) es necessita menor quantitat de llum, per l'exposició correcta.

La sèrie de valors ISO , igual que la del temps i el nombre de diafragma al quadrat varia en forma de progressió geomètrica de raó 2 (Taula 6).

Taula 6. Sèrie de valors de sensibilitat ISO .

ISO	25	50	100	200	400	800	1600	3200	6400
-------	----	----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

D'aquesta manera a l'hora d'ajustar la quantitat de llum que incideix sobre el sensor a través de l'objectiu s'ha de considerar el triangle exposició on els vèrtexs són els tres elements: L'obertura del diafragma (N), la velocitat d'obturació (t) i la sensibilitat (S) (Figura 6).

^(*) ISO (International Standard Office). ASA (American Standard Association).

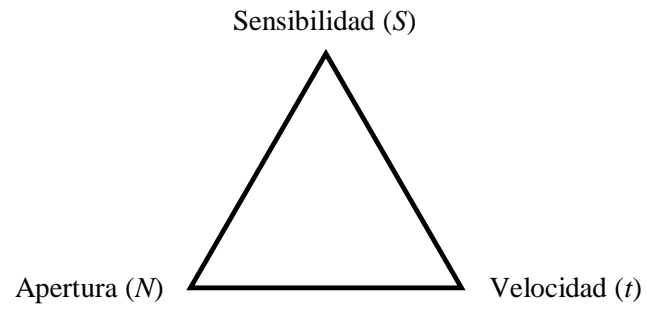


Figura 6. Triangle de l'exposició.

La relació entre N , t i S que manté la mateixa exposició al sensor ve donat per:

$$\frac{t_1}{N_1^2} S_1 = \frac{t_2}{N_2^2} S_2 \quad (21)$$

2.2.2. Mesura de l'exposició

Tal com hem mencionat anteriorment la quantitat de llum que incideix en l'objectiu es mesura a través de l'exposímetre.

Com a resultat de l'anàlisi de la quantitat de llum incident, l'exposímetre de la càmera indicarà si la llum incident és insuficient, és a dir si la imatge està subexposada, si la llum és excessiva, la imatge està sobreexposada o si la llum que arriba és correcta. Aquest resultat previ permet confirmar l'exposició programada, o corregir-la en el cas que no s'adeqüi a les necessitats del fotògraf.

Els exposímetres es classifiquen segons si mesuren la llum que incideix en l'objecte o bé la llum que reflecteix l'objecte.

- Exposímetre de llum incident: També anomenat fotòmetre extern o manual.

És un dispositiu que mesura la llum incident sobre l'àrea d'interès. Aquest tipus de mesura és la millor sempre que l'objecte d'interès sigui assolible, és a dir que estigui prou a prop. S'utilitza sobretot en cinema, televisió, retrats o fotografia de moda. (Figura 7)



Figura 7. a) Fotòmetre manual.



7.b) Mesura de la llum incident amb un fotòmetre manual.

- Exposímetre de llum reflectida: Mesura la llum que reflecteix l'àrea d'interès.

La llum reflectida és la que mesuren els exposímetres integrats en les càmeres encara que també es pot mesurar amb els fotòmetres externs o manuals. Aquest tipus de fotòmetre és molt còmode perquè permet agilitzar el procés de mesura de l'exposició i també realitzar mesures d'exposició en objectes que no es poden trobar a l'abast, és a dir, que es troben a molta distància.

El fotòmetre integrat calcula l'exposició a partir de la quantitat de llum que entra per l'objectiu. El sistema de mesura s'anomena també TTL (Through The Lens). La figura 8 mostra esquemàticament el funcionament d'un sistema de mesurament TTL. En aquest cas la cèl·lula de mesurament es troba propera al pentaprisma d'una càmera rereflex.

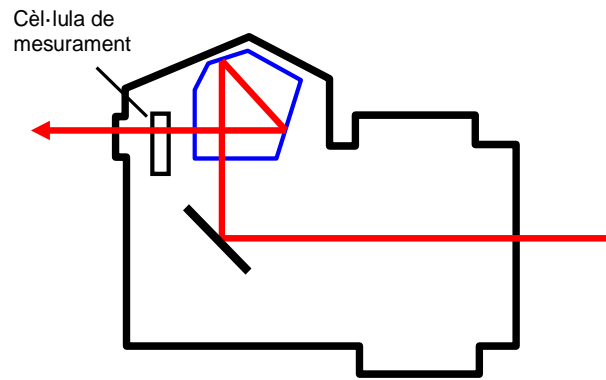


Figura 8. Fotòmetre TTL.

Segons el tipus de calibrat de la càmera que hagi fet el fabricant es poden obtenir mesures d'exposició incorrectes ja sigui quan es reflecteix llum excessiva o insuficient. Per corregir aquest defecte la càmera ofereix diverses maneres de mesurar la llum reflectida. Els mètodes de mesurament que presenta l'exposímetre d'una càmera són:

- Mesura Evaluativa o Matricial
- Mesura Parcial
- Mesura Puntual
- Mesurament Ponderada al Centre

La figura 9. mostra les icones corresponents als diferents tipus de mesurament de la càmera.

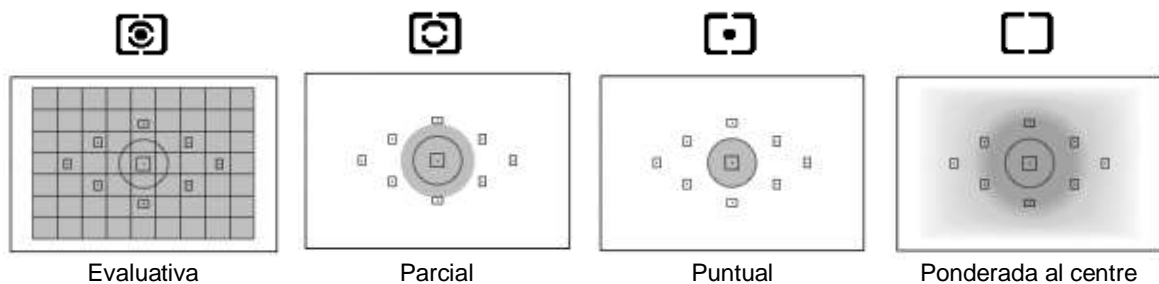


Figura 9. Icones representatives i esquema de funcionament dels diferents tipus de mesurament en càmeres TTL.

Mesura Evaluativa o Matricial

Aquest tipus de mesura va veure la llum el 1983 a través del model "FA" de Nikon. Es basa en una "matriu" que divideix l'escena en diversos segments amb la finalitat de prendre les diferents lectures de cada un d'ells (Figura 10).

Un processador integrat calcula la mitjana de tots els segments així com la diferència entre valors dels diferents segments. El resultat obtingut es compara amb les dades d'una base de dades que conté de milers d'imatges diferents per tal de decidir el tipus d'escena que es fotografia i establir l'exposició correcta. Aquest tipus de mesurament també considera la distància de l'objecte, la profunditat de camp i la il·luminació perifèrica.



Figura 10. Mesura evaluativa o matricial.

Mesura Parcial

Aquesta manera de mesurament és similar al mesurament puntual, però cobreix una àrea lleugerament més gran, aproximadament el 10% de la imatge total de la superfície (Figura 11). Aquest tipus de mesura funcionarà bé amb temes que tenen un contrast extrem, o bé quan no es vulgui que una part de la presa "confongui" el fotòmetre.



Figura 11. Mesura parcial.

Mesura Puntual

La mesura de la llum, es realitza al centre, en una zona central d'aproximadament el 3% de l'escena. La resta de l'escena no es mesura (Figura 12).



Figura 12. Mesura puntual.

Mesura Ponderada al Centre

La mesura es fa amb prioritat en la zona central tenint en compte també una mitjana de la resta de l'escena (Figura 13). És la més adequada quan creiem que la mesura puntual pot quedar limitada especialment. És la manera habitual per defecte en les càmeres digitals.



Figura 13. Mesura ponderada al centre.

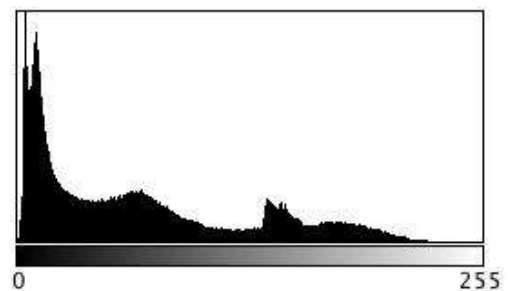
En la figura 14 es mostra un exemple de càmera fotogràfica Canon on podem veure com estan situats i representats els diferents valors de temps t , nombre de diafragma N , sensibilitat del sensor ISO , el valor d'exposició EV , el tipus de mesura i el format amb que es realitza la imatge entre altres paràmetres variables de la càmera com el tipus de format, mètode de mesurament, etc.



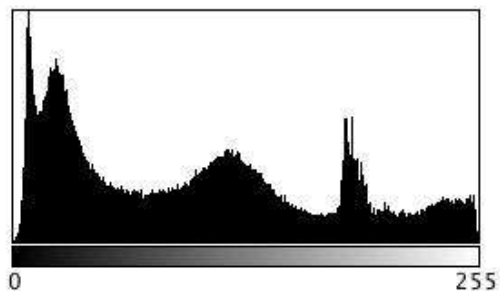
Figura 14. Mesura de l'exposició en una càmera fotogràfica. $t = 1/4000$ s; $N = 5,6$ (en vermell); $ISO = 100$ (en blau); $\Delta EV = 0$ (en verd); mesura matricial (en taronja), format RAW i JPEG (en groc).

Una manera de comprovar l'exposició de la imatge és a través de l'histograma de la imatge. La majoria de les càmeres digitals permeten visualitzar l'histograma de la imatge.

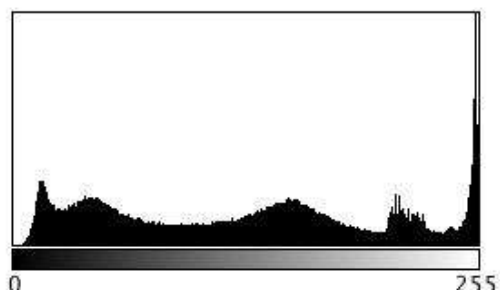
La figura 15. mostra una mateixa imatge amb diferents valors ΔEV i els seus corresponents histogrames.



a) $f/11$; $t = 1/640$; $\Delta EV = +1$



b) $f/11$; $t=1/320$; $\Delta EV = 0$



d) $f/11$; $t=1/160$; $\Delta EV = -1$

Figura 15. a) Fotografia subexposada $\Delta EV = +1$. L'histograma està desplaçat cap a l'esquerra.

b) Fotografia exposada correctament $\Delta EV = 0$. L'histograma està centrat.

c) Fotografia sobreposada $\Delta EV = -1$. L'histograma està desplaçat cap a l'esquerra.

Quan no es disposa d'exposímetre, ni de fotòmetre autònom, l'exposició correcta es dedueix de la regla del dia assolellat (Sunny 16). La regla estableix que en un dia assolellat $N=16$ i el temps d'exposició és la inversa de la sensibilitat S del sensor.

$$N=16; t = 1 / ISO$$

Per exemple si la sensibilitat del sensor és $S=100$ ISO. En un dia assolellat l'exposició correcta serà:

$$N=16; t = 1/S = 1/100 \text{ o bé } t = 1/125 \text{ (valor més proper)}$$

En el cas que la sensibilitat del sensor és $ISO = 200$. En un dia assolellat l'exposició correcta serà:

$$N = 16; t = 1/S = 1/200 \text{ o bé } t = 1/250 \text{ (valor més proper)}$$

La taula 7 mostra els valors d'exposició adequats per fer fotos a diverses condicions de llum. Aquests valors serveixen com a guies referencials que poden ser útils en la majoria dels casos, però, no s'han de considerar absoluts. Els mateixos han estat determinats per ISO 100.

Taula 7. Valors d'exposició (100 ISO) per a diferents condicions de llum^[19].

Llum de dia	
Sorra clara o neu a plena llum o llum lleugerament boirosa (ombres fortes)	16
Escena típica a plena llum o llum lleugerament boirosa (ombres fortes)	15
Escena típica amb llum boirosa (ombres suaus)	14
Escena típica, ennuvolat i lluminós (sense ombres)	13
Escena típica, completament ennuvolat	12
Àrees sota l'ombra a l'aire lliure, llum clara	12

Aire lliure - Llum natural	
Arc de sant Martí	
Cel serè	15
Cel ennuvolat	14
Postes de sol i horitzons	
Just abans de la posta de sol	12-14
Durant la posta de sol	12
Just després de la posta de sol	9-11
La Lluna, alçada > 40 °	
Plena	15
Creixent	14
Quart	13
Nova visible	12
Llum de lluna, alçada > 40 °	
Plena	-3 A -2
Creixent	-4
Quart	-6

Interiors - Llum artificial	
Galeries	8-11
Esdeveniments esportius, concerts i similars	8-9
Circs il·luminats	8
Espectacles sobre gel il·luminats	9
Oficines i àrees de treball	7-8
Interiors de la llar	5-7
Llums d'arbre de Nadal	4-5

Aire Lliure – Llum Artificial	
Neó i altres signes lluminosos	9-10
Esports nocturns	9
Foc i construccions en flames	9
Escenes lluminoses al carrer	8
Escenes nocturnes al carrer i vitrines	7-8
Trànsit vehicular nocturn	5
Fires i parcs temàtics	7
Llums d'arbre de Nadal	4-5
Edificis, monuments i pics amb il·luminació	3-5
Visió distant d'edificis il·luminats	2

2.3. Mesura de la llum.

2.3.1. La càmera digital com a dispositiu de mesura absoluta.

Degut a la multitud de dispositius que mesuren la llum, hem de diferenciar els dos tipus d'aparells.

Aparells que mesuren la il·luminació, és a dir, que mesuren la llum que incideix sobre una superfície.

Aparells de mesura Luminància, és a dir, que mesuren la llum que irradia una font de llum per unitat de superfície d'angle sòlid.

Luxòmetre

Per mesura la il·luminació s'utilitza el luxòmetre (figura 16 a) que ens marca en diverses escales quina és la llum que incideix sobre una superfície. El preu d'aquest aparell és aproximadament d'entre 20 i 300 euros en funció del rang que pot arribar a mesurar. Per realitzar les mesures l'aparell disposa d'una cel·la fotoelèctrica que transforma la llum captada en un senyal elèctric.



Figura 16. a) Luxòmetre^(*)



Figura 16.b) Luminancímetre
Minolta LS-100

Luminancímetre

Per mesura la luminància s'utilitza el luminancímetre (figura 16 b). Aquest aparell permet mesurar la luminància d'un objecte a distància, el seu valor s'obté de manera instantània tan sols enfocant la superfície que es vol mesurar. El preu de l'aparell ronda aproximadament els 3000 euros.

(*)Imatge www.eic.cat, enginyers industrials de Catalunya

Càmera fotogràfica

Considerem una càmera fotogràfica que permet ajustar manualment el mode d'exposició i que permet el mode de mesura. La càmera per un valor d'ISO determinat ens dona un valor del binomi N i t que estableix l'exposició correcta. Amb aquestes dades es vol calcular el valor de la luminància de l'escena i d'aquesta manera substituir el luminàncímetre per la càmera fotogràfica.

El cost d'una càmera és més econòmic, en aquests tipus de càmeres és aproximadament 300 euros, 10 vegades més econòmic que un luminàncímetre.

Avantatges i inconvenients de la càmera fotogràfica com a instrument de mesura.

Podem destacar com a avantatges de la càmera el preu i la portabilitat en relació al luminàncímetre. Com a inconvenients s'ha de destacar que les mesures són discretes (en terços de diafragma i de temps) en contraposició el luminàncímetre que són contínues.

Les mesures de la càmera són discretes, és a dir, que no són directes ja que dona el binomi N i t que cal passar els aquests valors a luminància amb una prèvia calibració de l'instrument.

També cal esmentar que el camp de mesura és molt més reduït en el luminàncímetre que en la càmera fotogràfica.

Finalment cal destacar que les mesures no són tant fiables com la del luminàncímetre ja que la mecànica dels obturadors presenta incerteses en la mesura del temps d'exposició.

2.4. Relació de la Luminància i l'Exposició

Tal com s'ha esmentat anteriorment la magnitud que mesura la brillantor dels objectes és la luminància. Al sistema visual humà (SVH) li costa molt apreciar canvis en la brillantor dels objectes a causa de diferents mecanismes d'adaptació i compensació amb els quals opera. El SVH presenta, de manera aproximada, una resposta logarítmica a la intensitat de la llum que li arriba. Això significa que la quantitat de llum emesa per un objecte i la que arriba a l'ull ha de canviar aproximadament en un factor 2 perquè el SVH pugui apreciar un canvi en la brillantor d'aquest objecte.

Tal com s'ha esmentat anteriorment els tres paràmetres que controlen la quantitat de llum o exposició H que arriba al sensor són la sensibilitat del sensor S , el nombre de diafragma N i el temps d'exposició t . Per a una sensibilitat donada (expressada pel paràmetre ISO) la càmera sol indicar-nos la combinació correcta de nombre de diafragma N i temps d'exposició t de manera que l'exposició H sigui la òptima.

La fotometria ens diu que l'exposició H és proporcional a la luminància de l'objecte L , i al temps d'exposició t , i que és inversament proporcional al nombre de diafragma al quadrat N^2 . La relació anterior s'expressa mitjançant la fórmula (13).

$$H = M \frac{L}{N^2} t \quad (13.2)$$

Si suposem que el valor de H és l'òptim, és a dir, és constant. Resulta que la luminància L de l'objecte és proporcional al valor $\frac{N^2}{t}$.

D'aquesta manera la luminància L i els valors d'exposició N i t està relacionat^[5] per:

$$L = K \frac{N^2}{t} \quad (22)$$

On K és un altre constant de proporcionalitat diferent a la de formula (13).

Per trobar valors de luminància a partir dels valors N i t que dona la càmera caldrà fer-ne una calibració. Si no es fa el calibratge es poden fer mesures relatives de luminància o de brillantor de manera que si suposem dues escenes diferents, amb valors de luminància y exposició $L_1 - N_1 - t_1$ i $L_2 - N_2 - t_2$. Es complirà que:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\frac{N_1^2}{t_1}}{\frac{N_2^2}{t_2}} = m \quad (23)$$

Si es disposa d'un luminancímetre es pot calibrar la càmera, de manera que és pot trobar l'equació lineal que lliga L i $\frac{N^2}{t}$.

2.5. La OCEF d'una càmera fotogràfica

Procedirem en primer lloc al calibratge de l'aparell de mesura que utilitzarem per això mesurarem l'OCEF (Opto-electronic Conversion Funcion) de la càmera fotogràfica.

La corba OECF relaciona dels valors RGB o nivells de gris, de sortida de la càmera i la luminància de l'objecte. El mètode de mesurament i l'anàlisi de les dades es descriu a la Norma internacional ISO 14524 del 2009.

La mesura de la OCEF s'ha fet a través de dues maneres, el test d'ajust Stouffer, i la carta de gris mig Kodak.

La mesura del test Stouffer s'ha realitzat al laboratori de qualitat d'imatge del Centre de la Imatge i la Tecnologia Multimèdia (CITM) de la UPC Terrassa.

2.5.1. La OCEF amb el Test Stouffer

A efectes pràctics es representen els valors de nivell de gris N_g de la imatge en funció dels valors d'exposició EV .

El test Stouffer és un suport transparent format per una cunya de grisos amb diferents transmittàncies. En la cunya utilitzada la T4110, hi ha 41 grisos diferents amb 41 valors de transmittància T i densitat òptica DO , l'increment de la DO entre cunya i cunya és de 0.1.

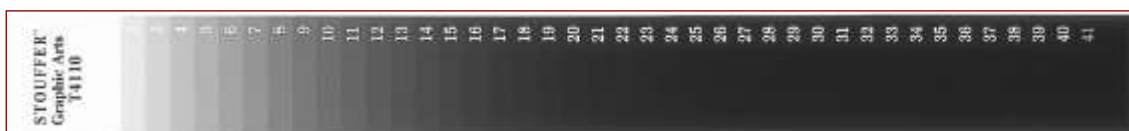


Figura 17. Cunya test Stouffer T4110

Es defineix la transmittància T d'una superfície com la intensitat del feix de llum controlada I_0 , la intensitat de la llum transmesa és I :

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (24)$$

Es defineix la densitat òptica DO d'una superfície transparent com:

$$DO = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (25)$$

On T és la transmittància de la superfície.

La relació entre la DO amb el valor d'exposició EV , ens bé donada per:

$$EV = \frac{10}{3} DO \quad (26)$$

A continuació en la taula 8 es mostren les característiques del fabricant per la cunya Stouffer que s'ha utilitzat en la calibració de la càmera fotogràfica.

Taula 8. Dades del fabricant del test Stouffer per a la cunya T4110 de diverses densitats de gris.

Test Stouffer T4110						
Step	Target	Tolerance	% Light Transmission	*% Light Transmission	DO=log ₁₀ (1/T)	EV=10/3DO
1	0,05	0,02	89,13	100,00	0,00	0,00
2	0,15	0,02	70,79	80,00	0,10	0,32
3	0,25	0,02	56,23	64,00	0,19	0,65
4	0,35	0,02	44,67	50,00	0,30	1,00
5	0,45	0,02	35,48	40,50	0,39	1,31
6	0,55	0,02	28,18	32,00	0,49	1,65
7	0,65	0,03	22,39	25,00	0,60	2,01
8	0,75	0,03	17,78	20,00	0,70	2,33
9	0,85	0,03	14,13	16,00	0,80	2,65
10	0,95	0,04	11,22	12,50	0,90	3,01
11	1,05	0,04	8,91	10,00	1,00	3,33
12	1,15	0,05	7,08	8,00	1,10	3,66
13	1,25	0,05	5,62	6,25	1,20	4,01
14	1,35	0,05	4,47	5,00	1,30	4,34
15	1,45	0,06	3,55	4,00	1,40	4,66
16	1,55	0,06	2,82	3,13	1,50	5,01
17	1,65	0,06	2,24	2,50	1,60	5,34
18	1,75	0,07	1,78	2,00	1,70	5,66
19	1,85	0,07	1,41	1,57	1,80	6,01
20	1,95	0,08	1,12	1,25	1,90	6,34
21	2,05	0,08	0,89	1,00	2,00	6,67
22	2,15	0,09	0,71	0,79	2,10	7,01
23	2,25	0,09	0,56	0,63	2,20	7,34
24	2,35	0,09	0,45	0,50	2,30	7,67
25	2,45	0,10	0,35	0,40	2,40	7,99
26	2,55	0,10	0,28	0,31	2,51	8,36
27	2,65	0,10	0,22	0,25	2,60	8,67
28	2,75	0,10	0,18	0,20	2,70	9,00
29	2,85	0,10	0,14	0,16	2,80	9,32
30	2,95	0,10	0,11	0,13	2,89	9,62
31	3,05	0,10	0,09	0,10	3,00	10,00
32	3,15	0,10	na	na		
33	3,25	0,10	na	na		
34	3,35	0,10	na	na		
35	3,45	0,10	na	na		
36	3,55	0,10	na	na		
37	3,65	0,10	na	na		
38	3,75	0,10	na	na		
39	3,85	0,10	na	na		
40	3,95	0,10	na	na		
41	4,05	0,10	na	na		

2.5.2. Metodologia test Stouffer

Per dur a terme la mesura es col·loca el test sobre una superfície il·luminada per transmissió amb un feix de llum de dia D55 d'intensitat controlada.

Es sincronitza el disparador flaix de la càmera amb el flaix d'il·luminació, es col·loca la càmera en un suport vertical adaptat per la captació de les imatges. (figura 18)

Prèviament a la captura d'imatges s'ha d'assegurar que el test està ben centrat i els grisos es troben al centre de la imatge.

Es realitza una sèrie de captures d'imatges amb el propòsit de poder escollir la primera imatge de la cunya que no hi hagi saturació ja que d'aquesta manera s'obté l'exposició adequada. Com que no podem assegurar-nos mitjançant la pantalla de la càmera fotogràfica quina és la primera imatge ben exposada realitzem varies fotos per escollir posteriorment la més adequada en el processat d'imatges.

La sèrie d'imatges capturades es processen amb Photoshop i posteriorment amb ImageJ per extreure'n els valors de nivells de gris, Ng.



Figura 18. Captura d'imatges amb el test Stouffer.

Mitjançant el Photoshop es busca la imatge no saturada, és a dir que el Ng de la primera cunya, sigui inferior a 255. D'aquesta manera ens assegurem que la imatge serà bona per la mesura del OCEF.

Per realitzar mesures de terme mitjà de nivells de gris en cada cunya utilitzarem l'ImageJ obtenint els resultats com es mostra en la figura 19.



Figura 19 . Mesura dels Ng per als diferents grisos del test Stouffer.

2.5.3. La OECF mitjançant la carta gris mig Kodak.

La carta de gris mig Kodak és una eina que serveix per determinar l'exposició de manera precisa i generalitzada. La carta té una reflectància del 18%, el valor en nivell de gris (Ng), serà al centre del rang de la mesura dels Ng.

L'exposímetre de la càmera està calibrat de manera que quan captura la carta de gris mig, el valor tonal que dona és de 8 bits, en captar la carta de gris el valor del seu nivell és de 128 i si el nombre de bits és 16 el nivell serà 32768.

El fotòmetre de la càmera, un fotòmetre de llum reflectida, realitza totes les mesures de luminància considerant que l'escena mitjana és una carta de gris i per tant tindrà una reflectància del 18%. Funciona en la majoria de situacions i la mesura de luminància és la correcta.

El motiu d'aquest funcionament es deu als diversos valors de luminància que es poden trobar dins d'una mateixa escena, la càmera per escollir el valor d'exposició EV correcta, només disposa de dos factors el binomi N i t , que varia segons la luminància de cadascun dels elements de la escena.

Per obtenir la millor EV el fotòmetre de la càmera calcula un terme mitjà de luminància dels varis elements segons el mètode de mesurament (puntual, matricial, etc) considerant que tenen una reflectància del 18%. Però aquest mètode no serveix per totes les escenes, en les escenes en que hi ha una gran diferència de il·luminació aquest funcionament de reflectància mitjana no és significativa.

En la figura 20 es mostra la zona de presa de mesures realitzada al laboratori d'on s'han obtingut els resultats de la carta de gris i altres mesures realitzades al laboratori.

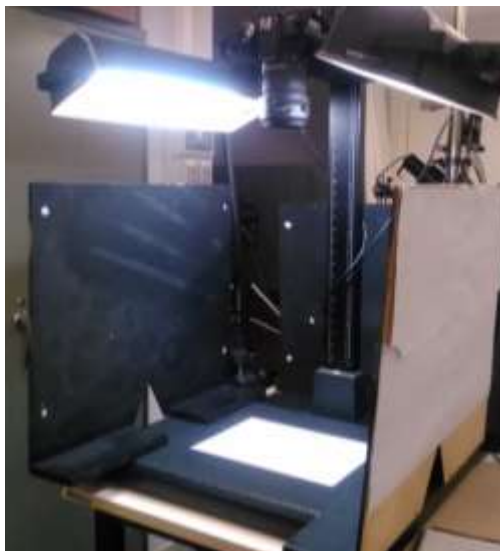


Figura 20. Zona de presa de mesures al laboratori.

3. RESULTATS EXPERIMENTALS

3.1. Resultats Experimentals test Stouffer

A continuació es mostren els resultats obtinguts amb el test Stouffer per la càmera fotogràfica Cànon EOS 500D.

La figura 21 representa valors dels nivells de gris Ng, en funció del valor d'exposició EV. Aquesta corba mostra la capacitat del sensor per captar diversos tons en una mateixa imatge.

La capacitat que té una càmera fotogràfica per captar tons molt foscos i tons molt clars en una mateixa imatge s'anomena el rang dinàmic.

La figura 21 representa la OECF de la càmera Canon EOS 500D, la corba és decreixent en augmentar els valors de EV la figura 22 presenta la part lineal d'aquesta corba, s'observa que correspon de forma aproximada a 4EV.

En la figura 23 és mostra els mateixos valors però en escala logarítmica i la figura 24 mostra els valors en escala logarítmica només tenint en compte els valors que percebem una variació lineal.

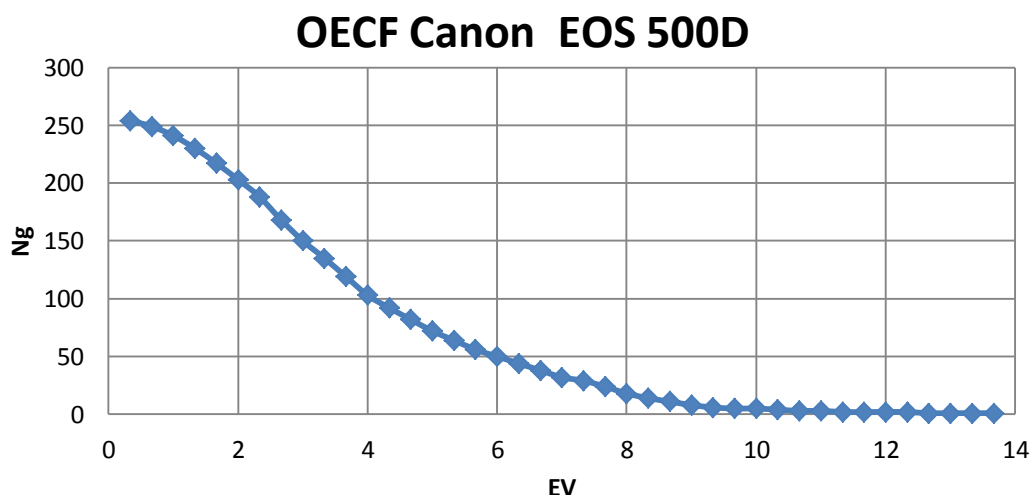


Figura 21. Representació gràfica entre els valors de Ng i els valors de EV.

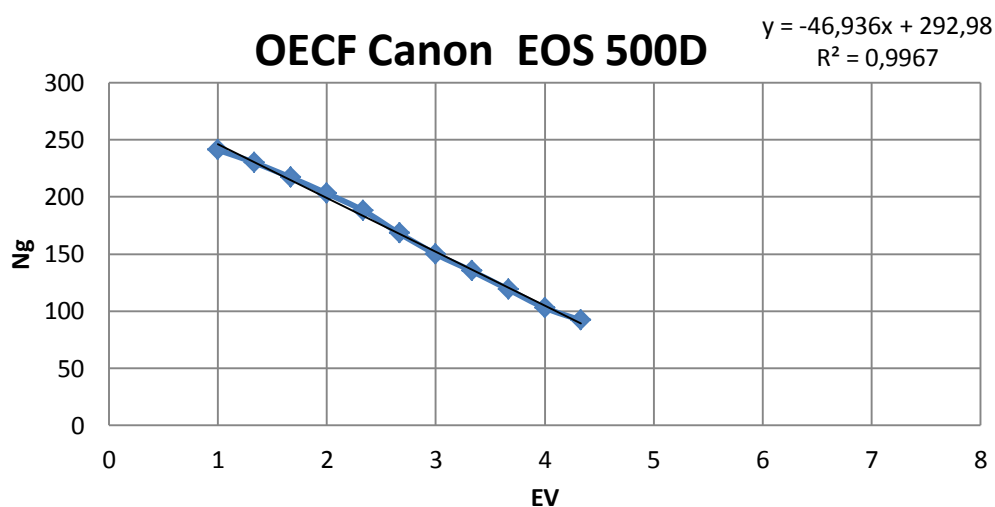


Figura 22. Representació gràfica dels 4 EV de rang dinàmic.

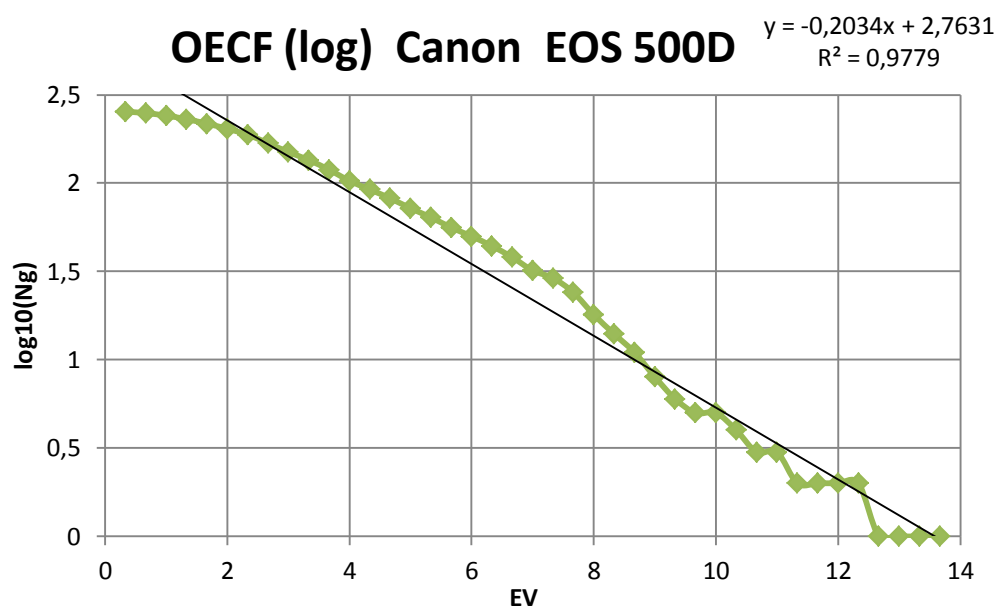


Figura 23. Representació gràfica entre els valors de Ng i els valors de EV, en escala logarítmica.

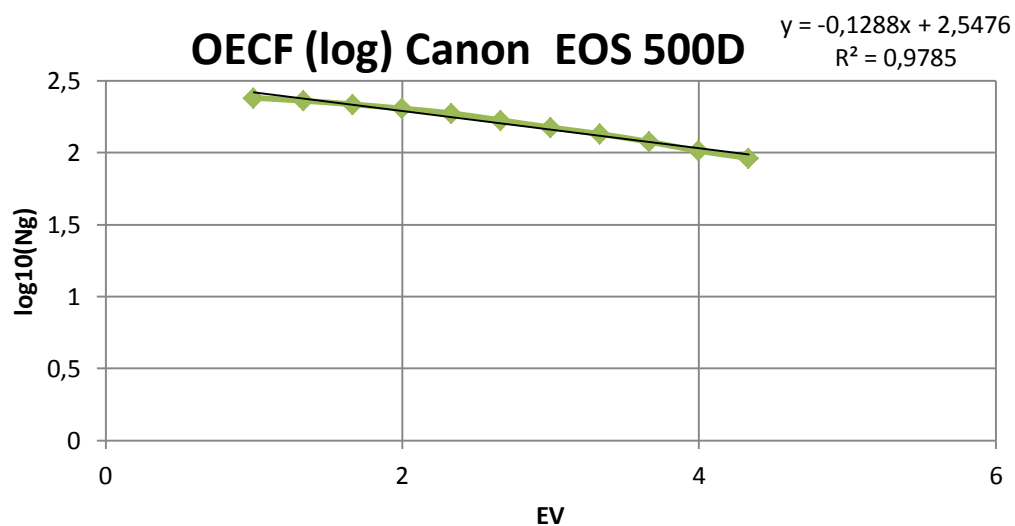


Figura 24. Representació gràfica entre els valors de Ng i els valors de EV en escala logarítmica. Rang dinàmic de 4EV.

3.2. Resultats Carta de gris Kodak

A continuació es mostra la resposta, en nivells de gris de la càmera Cànon EOS 500D, en funció del temps d'exposició i també per a diferents valors d'exposició.

En aquest cas les mesures s'han realitzat mantenint constant el nombre de diafragma $N=8$ i variant el temps d'exposició entre 2 segons i $1/4000$. Obtenint la exposició correcta en $N=8$; $t=1/13$.

La càmera està situada a una distància de 85 cm entre aquesta i el pla d'enfoc amb una focal de 250 mm com mostra la figura 20. Les dades s'obtenen amb dos formats de fitxers diferents amb format RAW i JPEG.

Per la realització de les mesures s'ha considerat la carta de gris mig Kodak, com a un difusor perfecte segons la fórmula $L = \rho \frac{E}{\pi}$, obtenint un valor calculat de luminància $L = 126 \text{ cd/m}^2$, amb un percentatge d'error del 5%, respecte el resultat mesurat amb el luminàncímetre Minolta SL-100 on, $L = 133 \text{ cd/m}^2$.

La il·luminació del laboratori, obtenim un valor de $E = 2200 \text{ lx}$, amb una llum constant dels fluorescents marca Osram Dulux L de 36w que emeten a una temperatura de calor de 4000 Kelvin, els valors màxims i mínims d'il·luminació són $6000 \text{ lx} - 1500 \text{ lx}$.

En les gràfiques de la Cànon EOS 500D s'observa el comportament que du a terme la càmera en fotografiar la carta de gris mig Kodak, podem veure que la majoria de valors mesurats en format RAW (figura 25) es troben entre un temps de 0,016 a 0,40 segons on els valors de nivells de gris no estan saturats, a partir del valor nivell 1019 fins al nivell 65533 corresponent al canal de 16 bits i en el format JPEG (figura 28) un temps entre 0,025 i 0,30 segons on els valors es troben en el rang de 49 Ng fins a 254 Ng en canal de 8 bits, aquests valors són els d'objecte d'estudi ja que són resultats amb una certa linealitat.

La caiguda del pendent més semblant a una recta ens indica el funcionament lineal dels nivells de gris respecte els valors d'exposició en el format RAW (figura 26) aquests valors d'exposició es troben compresos en 7,7EV i 11,6 EV en canvi per el format JPEG (figura 29) estan compresos entre 8EV i 12EV.

La diferència entre els dos formats és la precisió del punts, en el format RAW (figura 27) es destaca una major precisió ja que els punts estan en un rang de Ng més gran de 0 a 65536 corresponent a 16 bits, de manera que si prenem atenció a la regressió de les dues rectes, la que està donada per els valors RAW $R^2=0,9852$ és lleugerament menys propera a 1 donada la precisió dels valors que formen la recta, en canvi en el format JPEG (figura 30) $R^2=0,9936$ com que el rang de mesura dels nivells de gris és inferior de 0 a 256 és a dir 8 bits, l'aproximació al pendent de la recta és major per l'efecte de l'arrodoniment.

Imatges RAW

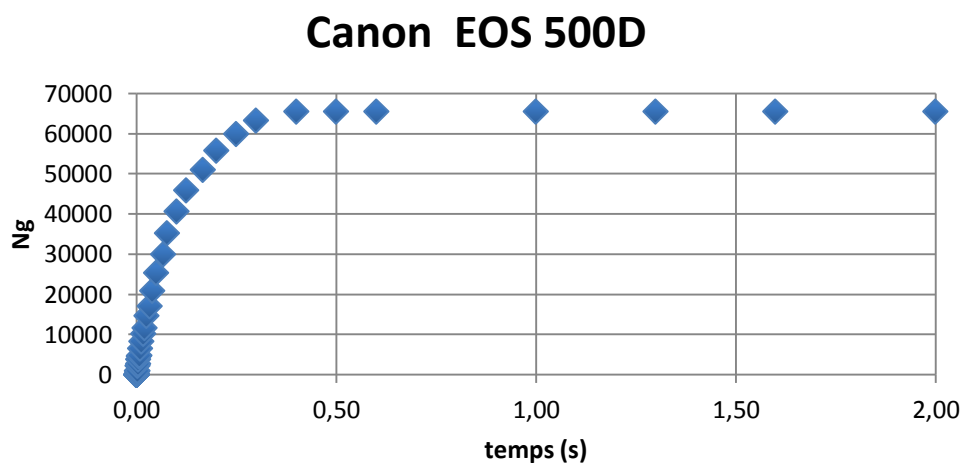


Figura 25. Representació gràfica entre els valors de Ng i el temps d'exposició per imatges captades en format RAW.

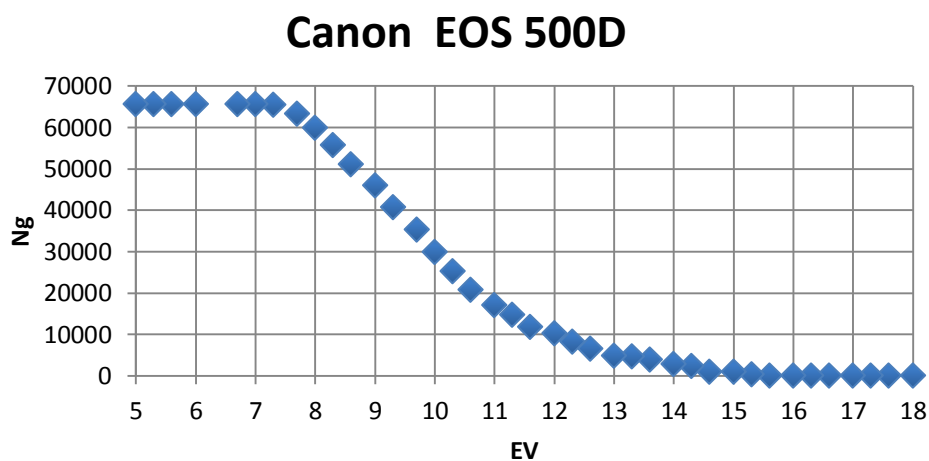


Figura 26. Representació gràfica dels valors de Ng i EV, imatges captades en format RAW.

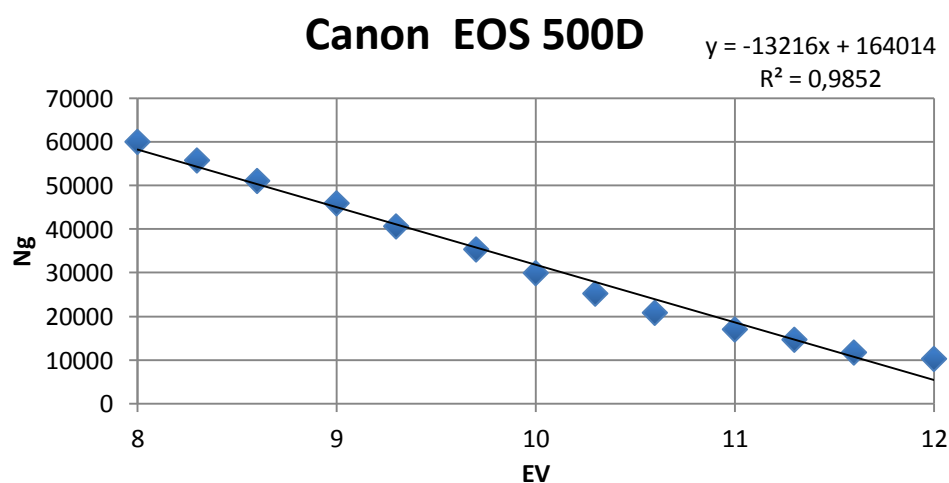


Figura 27. Representació lineal del gràfic dels valors de Ng i EV, per imatges captades en format RAW.

Imatges JPEG

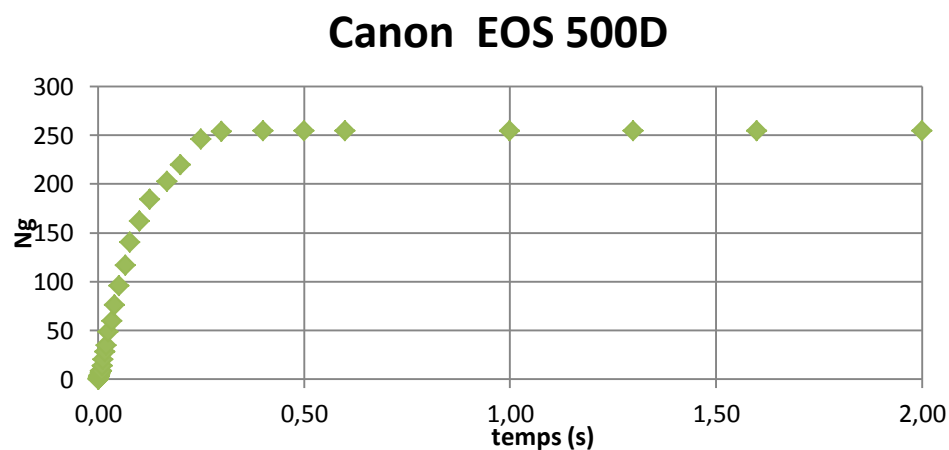


Figura 28. Representació gràfica entre els valors de Ng i el temps d'exposició per imatges captades en format JPEG.

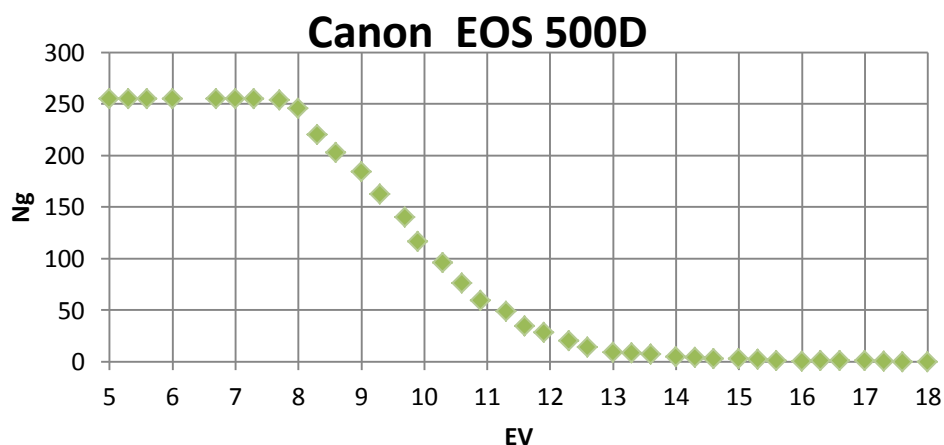


Figura 29. Representació gràfica dels valors de Ng i EV imatges captades en format JPEG.

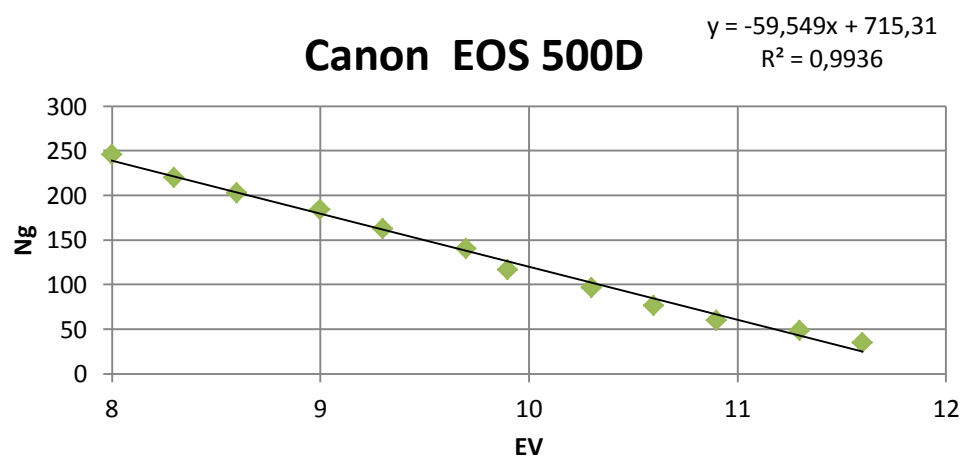


Figura 30. Representació lineal del gràfic dels valors de Ng i EV, per imatges captades en format JPEG.

En segon lloc es mostra la resposta, en nivells de gris de la càmera Nikon V1, en funció del temps d'exposició i per a diferents valors d'exposició.

En aquest cas les mesures s'han realitzat mantenint constant el nombre de diafragma $N=9$ i variant el temps d'exposició entre 2 segons i $1/200$. Obtenint la exposició correcta en $N=9$; $t=1/13$.

La càmera es situa a una distància de 66 cm d'alçada des de el pla d'enfoc amb una focal de 53 mm, com hem vist en la figura 20. Les dades també s'obtenen amb dos formats de fitxers diferents amb format RAW i JPEG per tal de fer-ne una comparació.

Les característiques de la il·luminació, la luminància i el tipus de llum són les mateixes que s'ha explicat en els resultats de la càmera Cànon.

En el resultats donats per en la càmera Nikon V1, obtenim resultats semblants al cas anterior per al comportament de la càmera respecte la carta de gris Kodak.

El tram de lineal del gràfic que representa el nivells de gris respecte el temps en el format RAW (figura 31) es troba entre 0,025 i 1,30 segons, que correspon a un rang de valors de nivell de gris 11058 entre 65530.

En el format JPEG (figura 34) en canvi els valors es troben entre els 0,04 i 0,5 segons que corresponen a uns nivells de gris compresos entre 51 i 254.

Si prenem atenció al pendent de la recta que es mostra en els les figures pel format RAW (figura 32 i 35) s'observa que els valors d'exposició que corresponen a una linealitat de funcionament estan entre 8 EV i 11,25 EV, mentre que en el format JPEG aquests varien entre 8 EV i 11,2 EV.

Pel que fa a la fiabilitat dels valors obtinguts en ambdós formats cal tenir en compte els valors de regressió de les recte. Pel format RAW (figura 33) obtenim un resultat de $R^2=0,9913$ i el format JPEG (figura 36) el valor de regressió de la recta és $R^2=0,9851$.

Imatges RAW

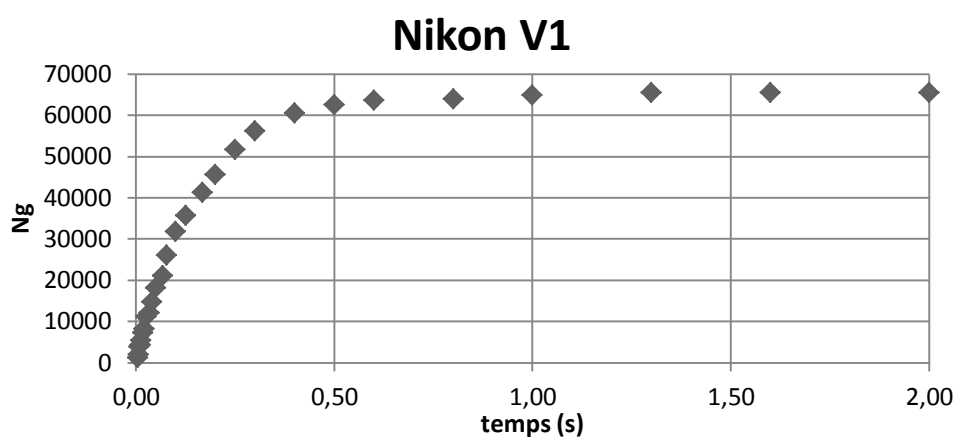


Figura 31. Representació gràfica dels valors de Ng i temps d'exposició, imatges captades en format RAW

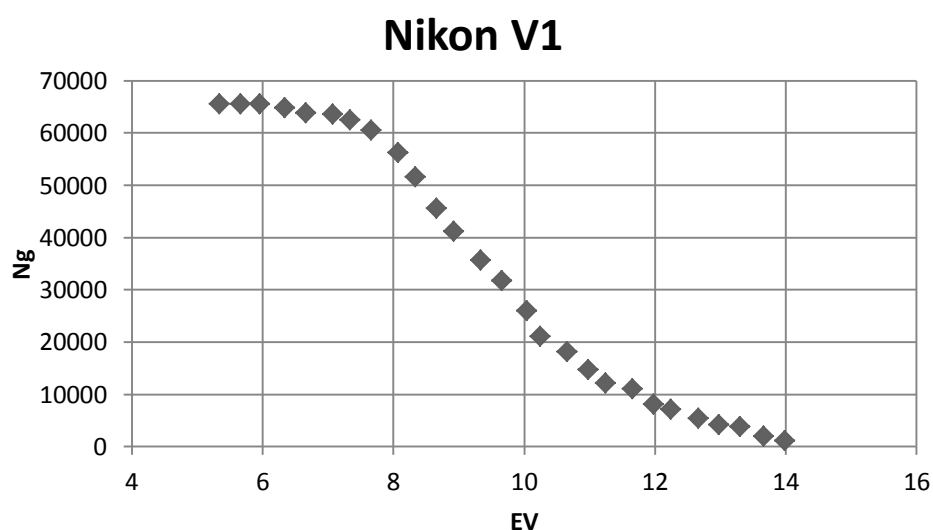


Figura 32. Representació gràfica dels valors de Ng i EV imatges captades en format RAW.

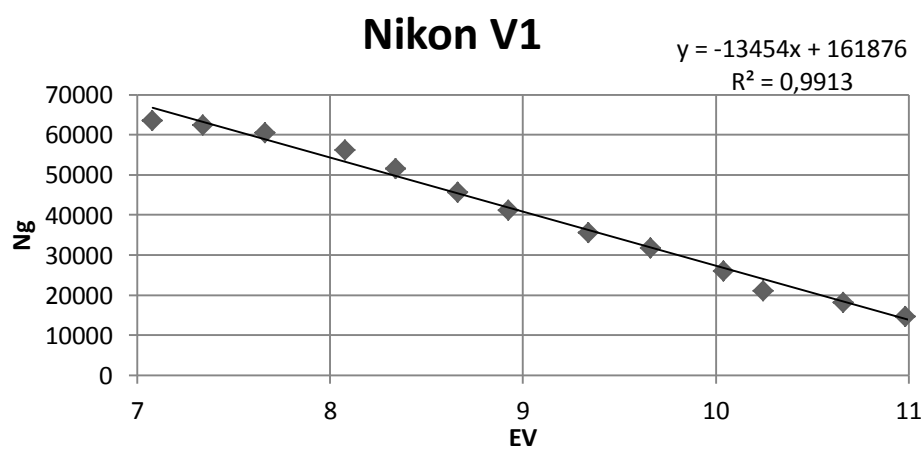


Figura 33. Representació lineal entre els valors de Ng i EV, imatges captades en format RAW

Imatges JPEG

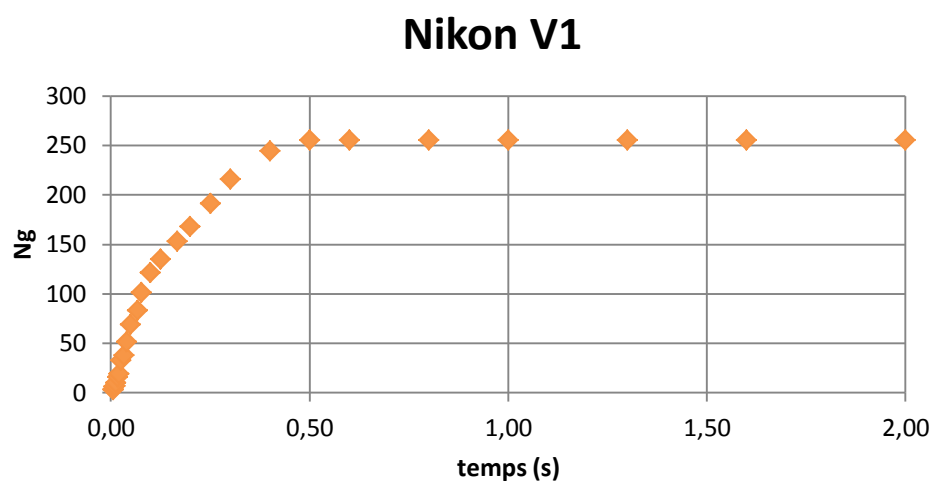


Figura 34. Representació gràfica dels valors de Ng i temps d'exposició, imatges captades en format JPEG.

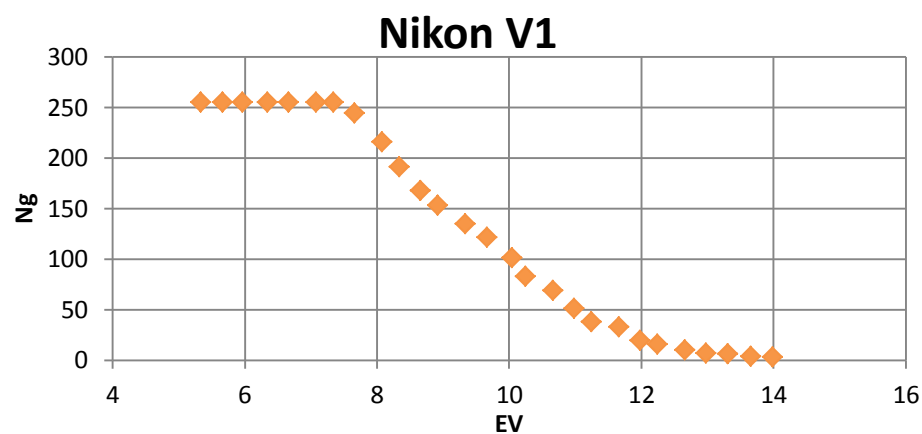


Figura 35. Representació gràfica dels valors de Ng i EV imatges captades en format JPEG.

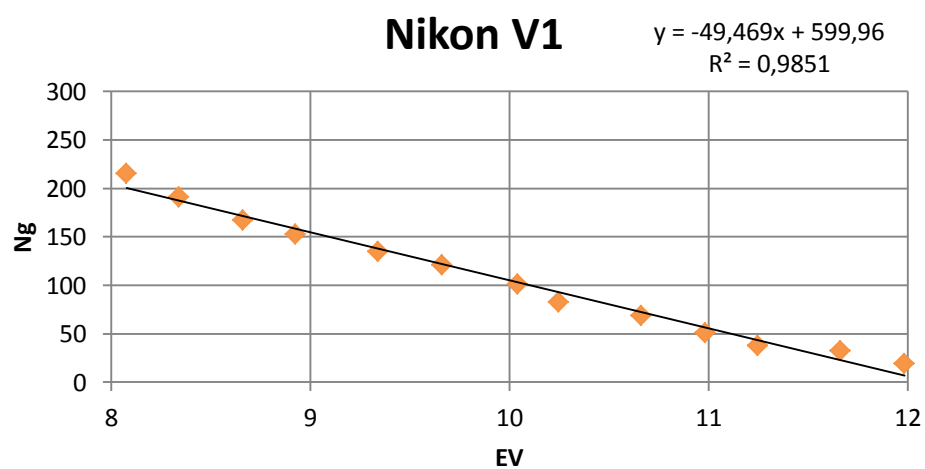


Figura 36. Representació lineal entre els valors de Ng i EV, imatges captades en format JPEG.

Després d'analitzar les dades obtingudes amb les mesures de les càmeres Canon EOS 500D i Nikon V1, analitzarem les dades de les dues càmeres a mode de comparació amb els gràfics de Ng en funció del temps i el Ng en funció del valor d'exposició calculat per les dues càmeres fotogràfiques. Els resultats comparats també estan separats en els formats d'imatge RAW i JPEG.

En relació a les imatges RAW (figura 37) la càmera Canon té uns valors de nivells de gris més elevats respecte la mateixa relació Ng i t que la càmera Nikon, i per tant augmenta més ràpidament els Ng i arriba a nivells pròxims a la saturació en un temps inferior a la Nikon.

Pel que fa aquesta comparació en el format JPEG (figura 40) la diferència és més notable ja que la càmera Nikon .

En la comparació dels valors del nivell de gris en funció dels EV en format RAW (figura 38) s'observa poca diferència degut a que l'escala és logarítmica però es veu com la càmera Canon necessita un petit valor de EV més elevat que la càmera Nikon per un mateix valor de Ng.

En el format JPEG (figura 41) s'observa més diferència entre les dues càmeres els valors de la zona central del gràfic entre els valors 7,7 EV i 11,5EV hi ha una certa diferència en que el pendent de la recta de la càmera Nikon és més suau el que ens mostra un canvi de Ng respecte EV amb salts propers en canvi la càmera Canon mostra uns canvis més bruscs en la relació NG-EV.

Si prenem atenció a les rectes que ens dibuixen les dues càmeres en format RAW (figura 39) la diferència és destacable ja que la regressió per a la càmera Canon és de $R^2= 0,9852$ i per la Nikon la regressió es de $R^2=0,9913$ per tant en aquesta comparació la càmera Nikon obté uns valors que s'ajusten millor a la recta ja que s'aproxima més a 1, en el cas dels fitxers JPEG (figura 42) la diferència de regressió més propera a 1 és per la càmera Canon amb un valor de $R^2= 0.9936$ i en canvi per la Nikon $R^2=0,9851$. Aquests valors oposats semblen fruit del arrodoniment dels valors i de la poca precisió que obtenim quan treballem amb 8 bits.

Imatges RAW

RAW Canon EOS 500D- Nikon V1

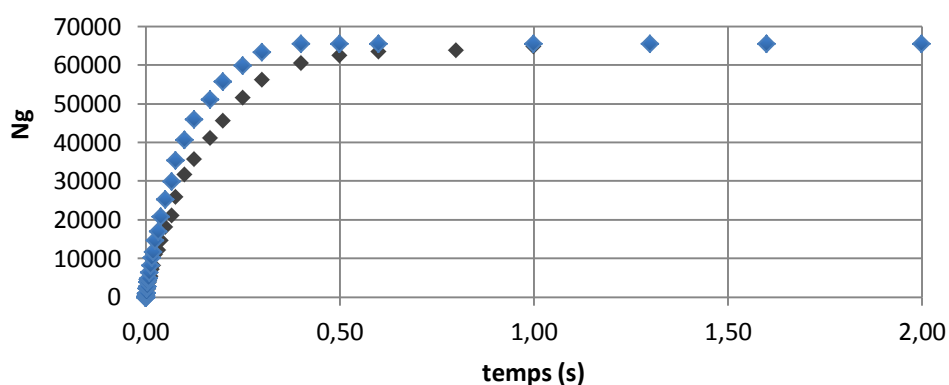


Figura 37. Representació gràfica dels valors de Ng i temps d'exposició, imatges captades en format RAW

RAW Canon EOS 500D- Nikon V1

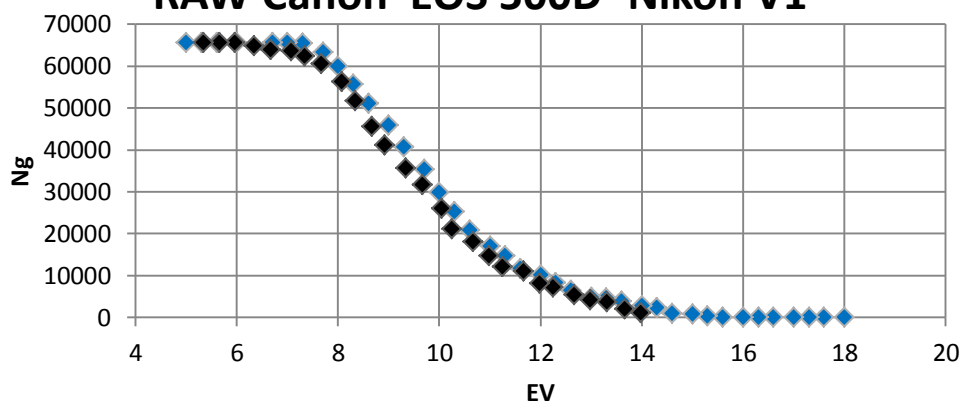


Figura 38. Representació gràfica dels valors de Ng i EV imatges captades en format RAW.

RAW Canon EOS 500D- Nikon V1

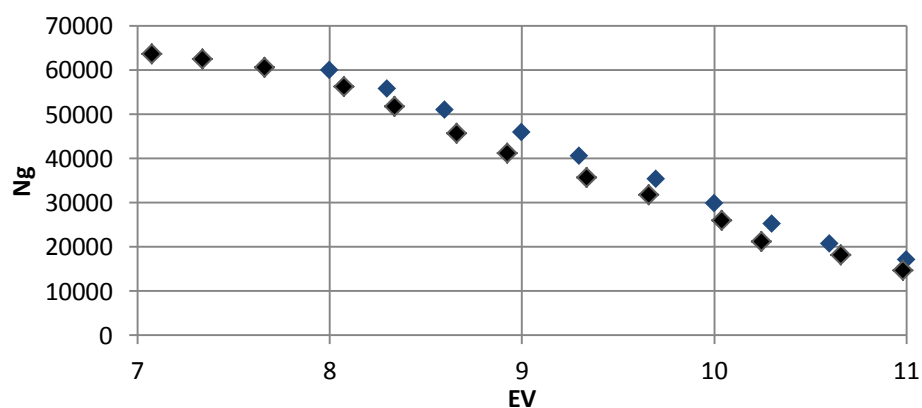


Figura 39. Representació lineal dels valors de Ng i EV, imatges captades en format RAW.

Imatges JPEG

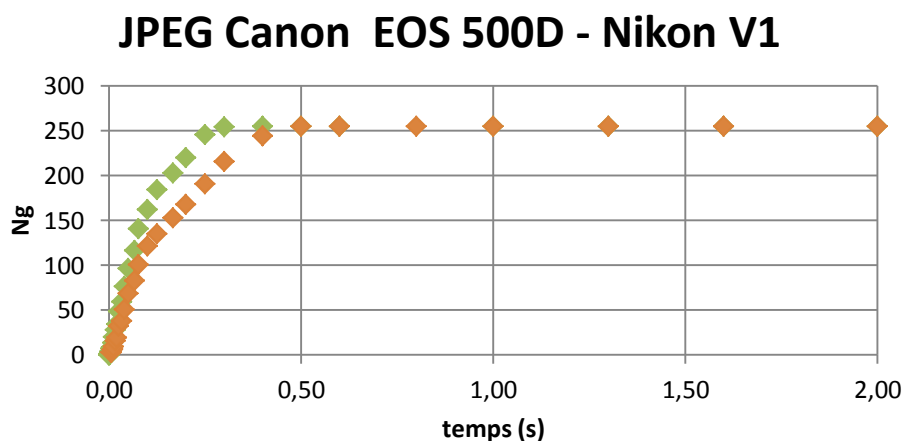


Figura 40. Representació gràfica dels valors de Ng i temps d'exposició, imatges captades en format JPEG.

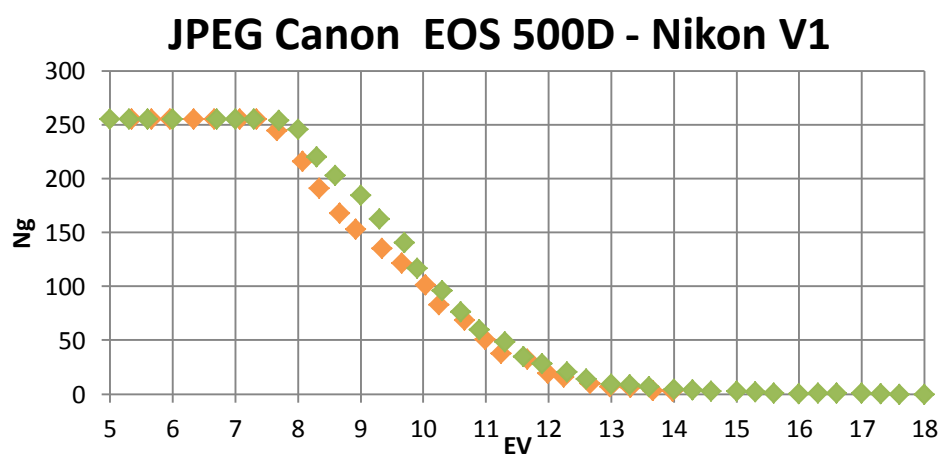


Figura 41. Representació gràfica dels valors de Ng i EV imatges captades en format JPEG.

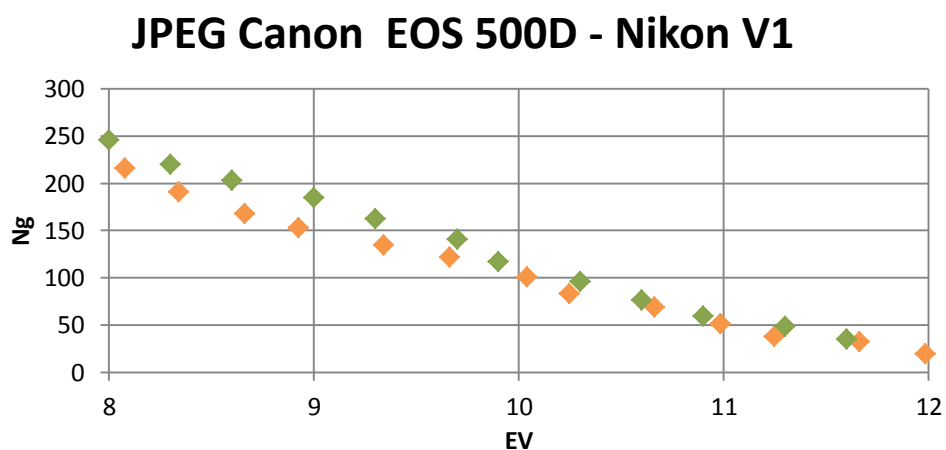


Figura 42. Representació lineal dels valors de Ng i EV, imatges captades en format JPEG.

3.3. Resultats del Nivells de gris respecte els Valors d'Exposició.

En aquest apartat s'han realitzat mesures al laboratori de valors de nivell de gris en funció de l'exposició amb l'ajut de la carta de gris, de manera es busca el nivell de gris N_g en funció del valor d'exposició EV , per a diferents valors de nombre de diafragma N .

Les mesures d'aquest apartat s'han realitzat per la càmera Canon EOS 500D. La zona de presa de mesures augmenta en il·luminació fins al valor de 2400 lux la resta de paràmetres mantenen les mateixes condicions de presa de mesures que es detallen en apartats anteriors com mostra la figura 20.

En el procediment s'ha dut a terme diverses sèries de fotografies de la carta de nivell de gris on es mesura el valor de nivell de gris per a obertures de diafragma que corresponen a $N=5,6$; $N=8$; $N=11$; $N=16$; $N=22$; $N=32$.

Per a cada valor de N esmentat s'obté 31 fotografies corresponents als valors de temps 1/4000; 1/3200; 1/2500; 1/2000; 1/1600; 1/1250; 1/1000; 1/800; 1/640; 1/500; 1/400; 1/320; 1/250; 1/200; 1/160; 1/125; 1/100; 1/80; 1/60; 1/50; 1/40; 1/30; 1/25; 1/20; 1/15; 1/13; 1/10; 1/8; 1/6; 1/5 i 1/4.

En cada cas, s'obté mitjançant el fotòmetre integrat de la càmera el valor d'exposició correcta i el nivell de gris corresponent. En la taula 9 es mostren els resultats de les imatges.

Taula 9. Resultats de la relació d'exposició i nivell de gris per la correcta exposició segons el valor de N , en la carta de gris mig Kodak.

Color línia	N	Temps (t)	EV	N_g
Vermell	$N=5,6$	$t=1/50$	$EV=10,6$	$N_g=34867$
Verd	$N=8$	$t=1/50$	$EV=11,6$	$N_g=34791$
Lila	$N=11$	$t=1/50$	$EV=12,6$	$N_g=34592$
Blau	$N=16$	$t=1/50$	$EV=13,6$	$N_g=34167$
Taronja	$N=22$	$t=1/50$	$EV=14,6$	$N_g=33249$
Negre	$N=32$	$t=1/50$	$EV=15,6$	$N_g=32824$

A continuació a la figura 43 es mostra la representació gràfica dels nivells de gris en funció dels valors d'exposició de les sèries esmentades anteriorment fetes a la carta de gris.

Es pot observar gràficament el que hem demostrat numèricament en la taula 9. La corba representada de N_g en funció de EV es desplaça $\Delta EV=1$ per cada salt de diafragma. Això corrobora el que sabem respecte la diferència mínim de luminància que ha de sorgir perquè el ull humà pugi percebre la difer

En la figura 44 està representada la part lineal de la corba N_g en funció de EV , de manera que s'observa el desplaçament de EV que s'ha esmentat anteriorment. També es pot observar el rang dinàmic de 4EV que ens ofereix la càmera Canon EOS 500D, per a cadascun dels valors de diafragma mesurats en aquest apartat.

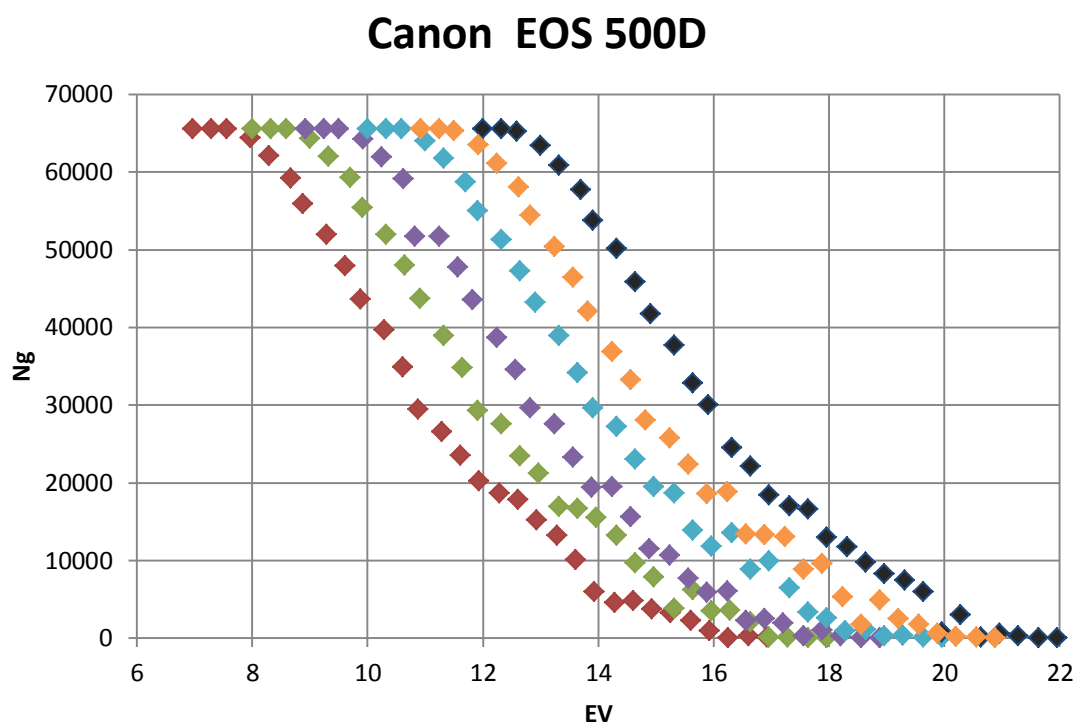


Figura 43. Representació gràfica del Ng en funció dels EV per a les diverses sèries realitzades amb la carta de gris mig Kodak.

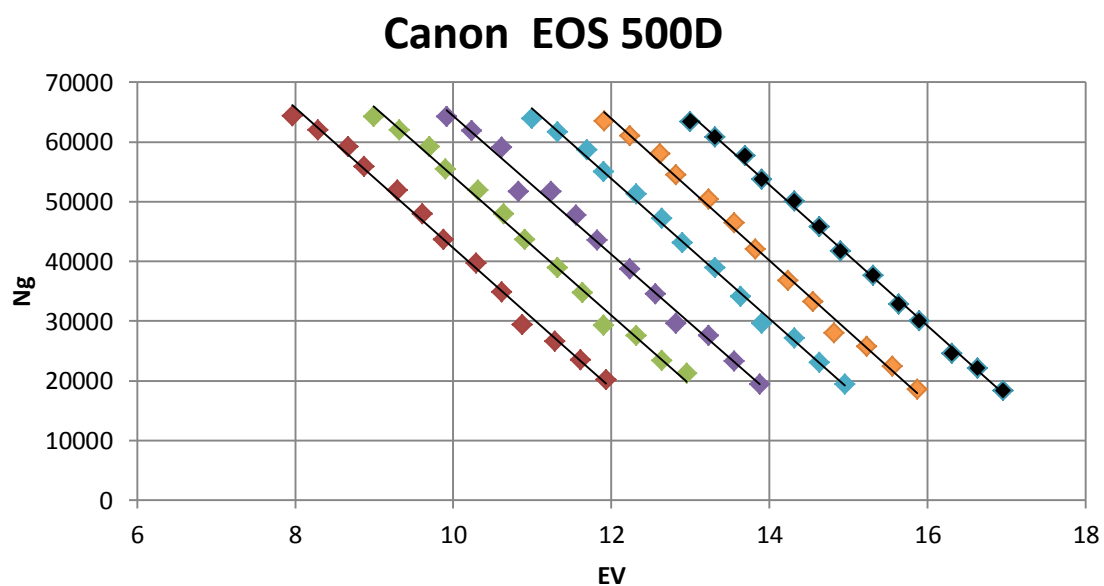


Figura 44. Representació lineal de la gràfica dels Ng en funció de EV on $\Delta EV=4$.

Finalment en la figura 45 es mostra la relació entre el nivell de gris en funció del valor d'exposició. Aquestes dades estan extretes del web dpreview^[3] que realitza assaigs tècnics amb càmeres fotogràfiques. Es pot observar com la càmera cànon EOS 500D disposa d'aproximadament $\Delta EV = 4$ de rang dinàmic, ja que la linealitat de la càmera ocupa els valors compresos entre -2EV i +2EV.

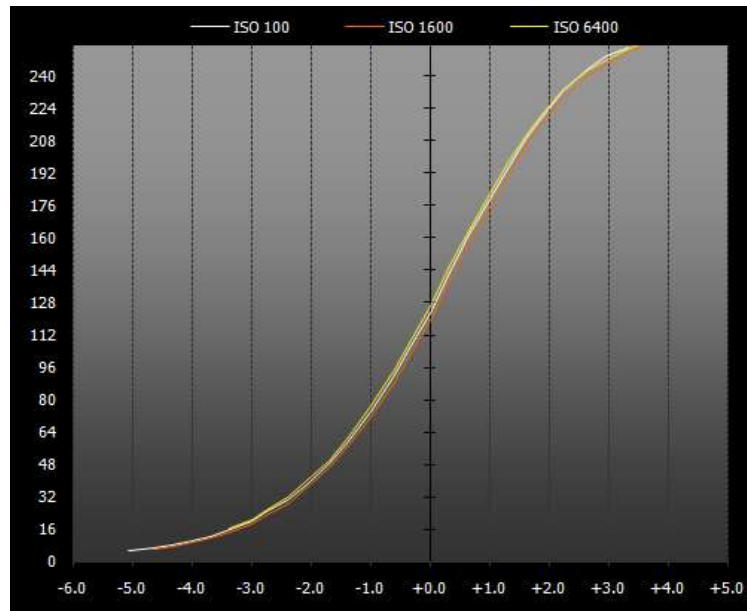


Figura 45. Representació gràfica dels nivells de gris en funció del valor d'exposició per la Canon EOS 500D segons assaig realitzat per dpreview.

3.4. Luminància respecte N^2/t de la càmera en una escena Natural

En aquest apartat es vol trobar l'equació que relaciona la luminància i l'exposició per a dues càmeres fotogràfiques la Nikon V1 i la Canon EOS 500D.

Les mesures s'han realitzat a l'exterior en una escena natural il·luminada amb la llum del sol, que és la llum que ens permet obtenir valors de luminància molt elevats fins a per exemple 25000 nit.

Per dur a terme les mesures de luminància s'ha calibrat la càmera Nikon V1 i la Canon EOS 500D (figura 46), amb el luminancímetre Minolta LS-100.



Figura 46. (a) Càmera Nikon V1.



Figura 46 (b) Canon EOS 500D.

En primer lloc es selecciona la mesura puntual a les opcions de la càmera a fi i efecte de poder mesurar quantitat de llum que emet una part petita de l'escena.

L'objectiu de la càmera utilitzat és un objectiu tele, de manera que el camp que compren la càmera sigui el més petit possible. La sensibilitat del sensor s'ha fixat al valor de 100 ISO.

Les mesures realitzades efectuen en mode prioritat obertura, per tant el nombre de diafragma és manté constant i el temps d'exposició s'adequa a l'exposició correcta calculada pel sensor de la càmera.

En les es figures 47 a) i b) es mostren algunes de les zones mesurades per realitzar la calibració amb el luminancímetre Minolta LS-100.



a)

b)

Figura 47. a) i b) Zones de mesura dels valors de N i t amb el corresponent valor de L .

Càmera Nikon V1

Per la càmera Nikon V1 s'obtenen els resultats de les mesures d'una escena l'exterior. Alguns dels punts mostrejats s'indiquen en les figures 47 a) i 47 b) segons el procediment esmentat anteriorment que mostra la taula 10. Per conèixer l'error que es produeix quan la mesura de la luminància ve donada per la càmera fotogràfica i l'equació (27). A mode d'exemple es calcula l'error donat en les mesures de la Nikon V1 que resulta una mitjana d'error del 6%.

Taula 10. Resultats de les mesures de N i t amb el corresponent valor de L amb la càmera Nikon V1.

Nikon V1						
ISO = 100 N=16						
Figura	Zona	1/t (1/s)	N^2/t	L (cd/m ²)	L (càmera)	% Error
(a)	1	160	40960	6800	6178	9
	2	640	163840	25000	24610	2
	3	30	7680	1100	1186	8
	4	60	15360	2300	2338	2
	5	400	102400	16000	15394	4
	6	500	128000	19000	19234	1
	7	640	163840	24000	24610	3
(b)	1	50	12800	1800	1954	9
	2	80	20480	3330	3106	7
	3	60	15360	2350	2338	1
	4	20	5120	720	802	11
	5	200	51200	8500	7714	9
Altres zones diferents de les que es mostren en la Figura 47.		320	81920	13360	12322	8
		250	64000	9000	9634	7
		160	40960	5700	6178	8
		100	25600	3800	3874	2
		40	10240	1500	1570	5
		40	10240	1500	1570	5
		20	5120	700	802	15
		500	128000	18800	19234	2
		10	2560	400	418	5
		500	128000	18600	19234	3
		6	1536	250	264	6
		60	15360	2100	2338	11
		80	20480	2800	3106	11

Si representem la luminància L mesurada en funció del valor N^2/t que ens dona la càmera s'obté el gràfic de la figura 48. El que ens mostra el gràfic és que el fotòmetre de la càmera pot mesurar la luminància mitjançant el càlcul de l'equació (27) dels objectes amb una certa precisió de la mesura.

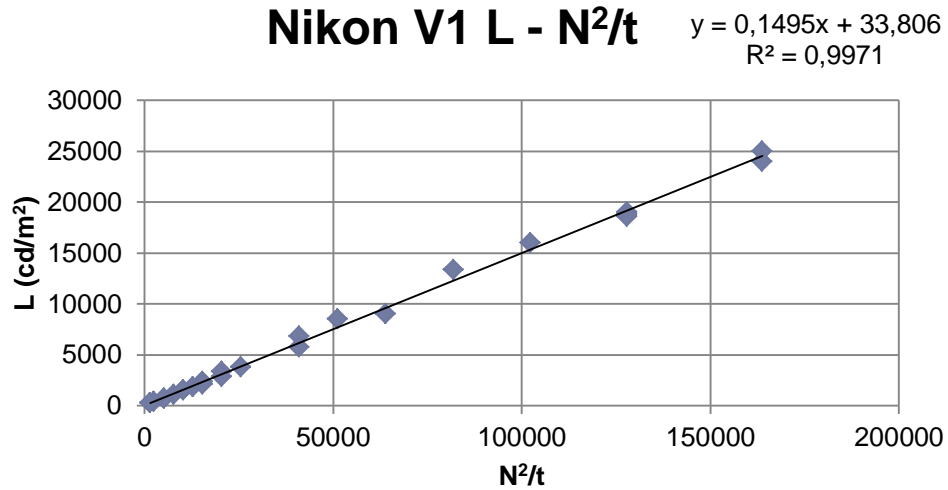


Figura 48. Representació del gràfic L en funció de N^2/t i recta de regressió.

De manera que les dades s'ajusten a una recta d'equació:

$$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 21 \quad (27)$$

Amb un coeficient de determinació:

$$R^2 = 0,99709 \quad (28)$$

Càmera Canon EOS 500D

Per la càmera Canon 500 D, duem a terme el mateix procediment expressat per la càmera Nikon V1. Es selecciona la mesura puntual per mesurar una quantitat de llum petita de l'escena, s'utilitza un objectiu tele, de manera que el camp que compren la càmera sigui el més petit possible i la sensibilitat del sensor s'ha fixat al valor de 100 ISO.

En les mesures realitzades es manté constant el nombre de diafragma N , és a dir, s'efectuen les mesures en mode prioritat obertura obtenint el valor del temps d'exposició correcte.

Per la càmera Canon EOS 500D s'obtenen els resultats que mostra la taula 11 de les mesures en una escena exterior. En aquest cas l'error calculat que es produeix quan es mesura la luminància mitjançant la càmera fotogràfica és del 10%.

Taula 11. Resultats de les mesures de N i t amb el corresponent valor de L amb la càmera Canon EOS 500D.

Canon EOS 500D						
ISO = 100 N=16						
Figura	Zona	1/t (1/s)	N^2/t	L (cd/m2)	L (camera)	% Error
(a)	1	160	40960	7400	7804	5
	2	640	163840	2800	2940	5
	3	30	7680	4800	4886	2
	4	60	15360	25000	24342	3
	5	400	102400	1700	1481	13
	6	500	128000	15000	15587	4
	7	640	163840	3900	2940	25
(b)	1	50	12800	9900	9750	2
	2	80	20480	15000	15587	4
	3	60	15360	1000	995	1
	4	20	5120	2300	2454	7
	5	200	51200	5700	6102	7
Altres zones diferents de les que es mostren en la Figura 47		320	81920	3700	3913	6
		250	64000	2300	1968	14
		160	40960	14000	12182	13
		100	25600	1600	1481	7
		40	10240	13000	12182	6
		40	10240	6500	6102	6
		20	5120	3000	2940	2
		500	128000	440	508	16
		10	2560	780	995	28
		500	128000	920	1238	35
		6	1536	1000	1238	24
		60	15360	1000	995	1
		80	20480	8600	7804	9

Per la càmera Canon EOS 500D la relació entre L i N^2/t ve donada pel gràfic figura 49.

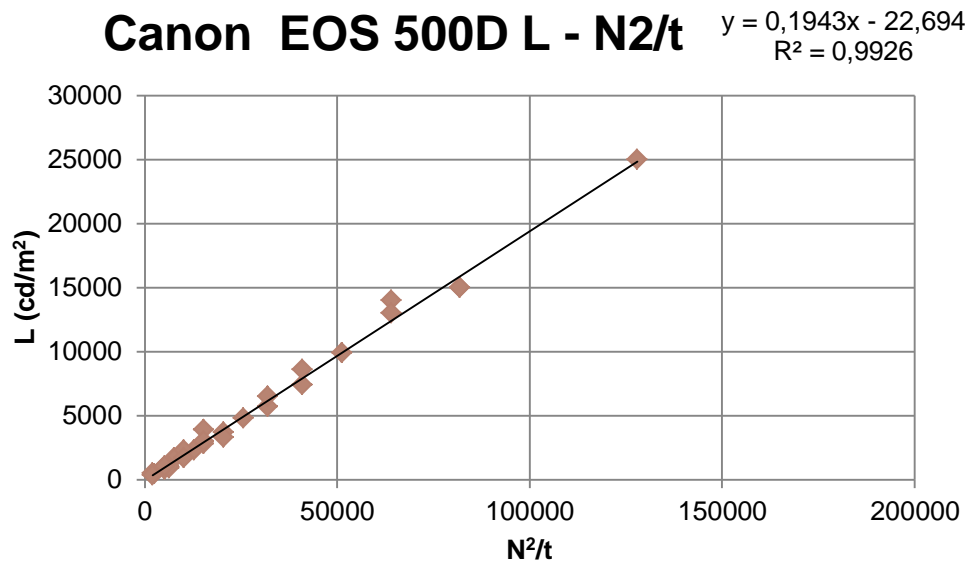


Figura 49. Representació del gràfic L en funció de N^2/t i recta de regressió.

Les dades del gràfic s'ajusten a una recta d'equació:

$$L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 23 \quad (29)$$

Amb un coeficient de determinació:

$$R^2 = 0,99262 \quad (30)$$

3.5. Luminància respecte N^2/t de la càmera amb difusors lambertians

3.5.1. Luminància respecte N^2/t al laboratori

En aquest apartat es vol comprovar la relació de la luminància i l'exposició per les càmeres Canon EOS 500D i Nikon V1, per a difusors lambertians en el laboratori.

Les mesures a partir de 14 cartolines mida A4 de colors diferents, que presenten diferents luminàncies i també amb la carta de gris mig Kodak.

Es realitza l'estudi de la llum que reflecteix cadascuna de les cartolines i es captada per la càmera fotogràfica, és a dir, s'estudia la luminància de les cartolines respecte el binomi N-t de la càmera.

El primer pas és l'ordenació de les cartolines segons la luminància, aquest procés es realitza gràcies a l'ajuda del luminancímetre Minolta SL-100, que ens dona el resultat en cd/m^2 i permet una fàcil ordenació de les cartolines (figura 50).



Figura 50. Cartolines ordenades de dreta a esquerra de major a menor luminància, el número 15 és la carta de gris mig que no surt en aquesta imatge.

Metodologia al laboratori

En tots els casos la metodologia utilitzada en la presa de mesures del laboratori és la mateixa.

Per fer unes bones mesures al laboratori és necessari utilitzar un suport vertical on es col·loca la càmera fotogràfica perpendicular a la cartolina o pla objecte que es vol fotografiar (figura 20.1).

Són necessaris uns panells foscos per reduir al màxim la contaminació lumínica de la sala tot i que es realitzen les mesures amb la llum de la sala apagada, la única llum que hi ha a la sala en el moment de les mesures és la llum dels fluorescents del suport fotogràfic. Els fluorescents són de llum controlada que emeten 36W i una temperatura de color de 4000Kelvin, de la marca Dulux L. En aquest cas la il·luminació en la zona d'estudi és de 1280 Lux.



Figura 20.1 Zona de presa de mesures amb difusors lambertians al laboratori.

Resultats al laboratori amb la Nikon V1

En el primer dels casos treballats al laboratori per establir la relació de L i N^2/t es realitza la mesura de les cartolines amb la càmera Nikon V1, que se li assigna un valor de focal 30 mm, la càmera està situada al suport vertical a una alçada de 85 cm respecte la cartolina.

Es realitzen totes les mesures amb prioritat apertura amb el nombre de diafragma $N=5.6$, la sensibilitat del sensor és $ISO=100$ i els temps es determina segons el càlcul que realitza el sensor de la càmera.

En els resultats representats a la figura 51 veiem que les dades que s'ajunten a la recta de l'equació és $L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 4,21$, força diferent a l'equació que hem obtingut en els resultats de mesures a l'exterior amb una escena natural $L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 21$. Aquesta discrepància es degut al diferent valor de la focal.

Com que les cartolines de colors són difusors perfectes, el valor de gris degut al valor estadístic del 18% de reflectància de les càmeres fotogràfiques, serà d'aproximadament de 128 si la codificació és en 8 bits o 32768 si la codificació és en 16 bits. Com es pot observar totes les cartolines responen a un nivell de gris similar independentment del valor de luminància representat en la figura 52 que relaciona els valors de nivell de gris mesurat per a cada cartolina.

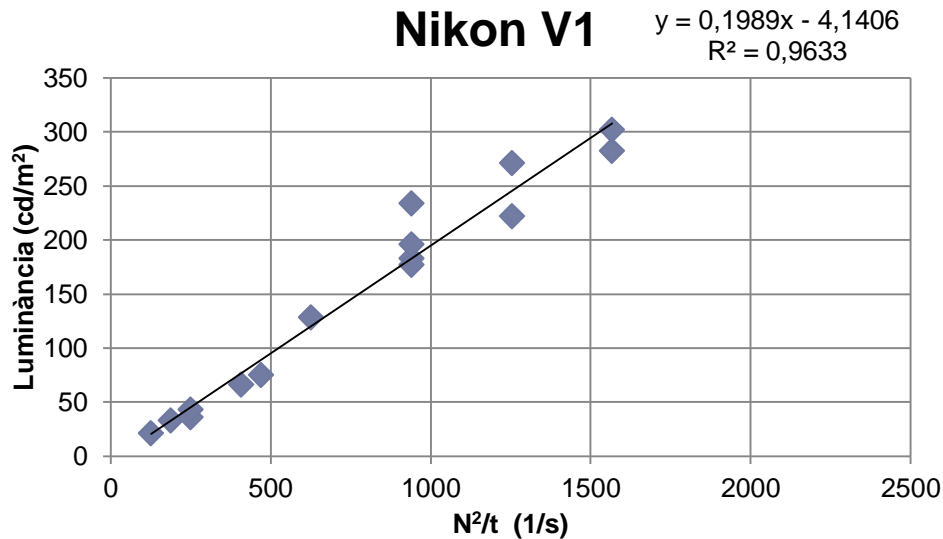


Figura 51. Representació de la luminància en funció del binomi N i t , al laboratori per la càmera Nikon V1.

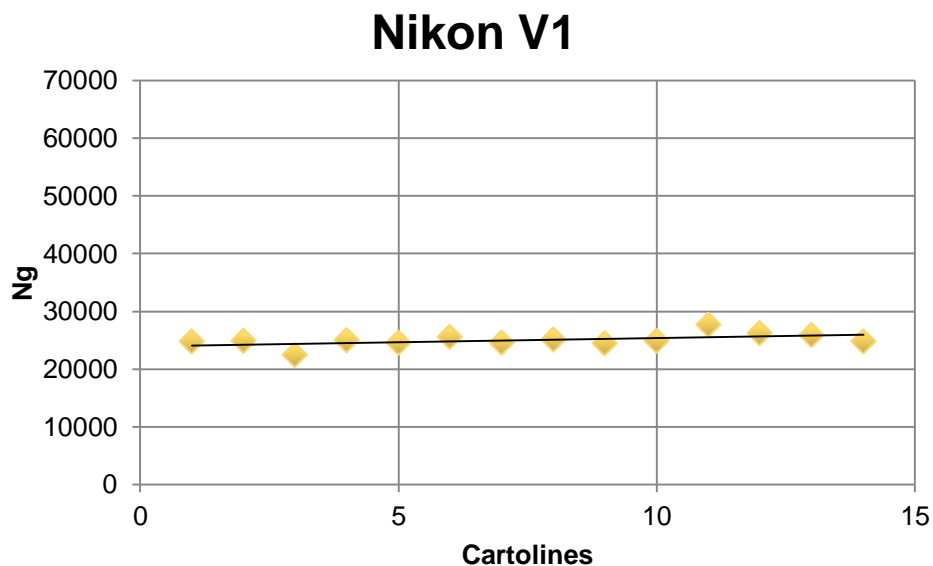


Figura 52. Representació dels nivells de gris per les diverses cartolines, segons els diferents valors N i t que indicava el fotòmetre de la càmera Nikon V1 al laboratori.

Resultats al laboratori amb la Canon EOS 500D

Per la mesura de les cartolines amb la càmera Canon EOS 500D, se li assigna un valor de focal 93 mm, la càmera situada al suport vertical a una alçada de 85 cm respecte la cartolina.

Es realitzen totes les mesures a partir del nombre de diafragma $N=5.6$, la sensibilitat del sensor és $ISO=100$ i els temps es determina segons el càlcul que realitza el sensor de la càmera.

En els resultats representats a la figura 53 veiem que les dades que s'ajunten a la recta de l'equació és $L = 0,16 \frac{N^2}{t} - 4,8$; de manera que s'allunya de l'equació obtinguda en els resultats de mesures a l'escena natural de $L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 23$. Aquesta discrepància es degut al diferent valor de la focal.

Com en el cas anterior mesurat amb la Nikon V1 es pot observar en la figura 54 totes les cartolines responen a un nivell de gris similar independentment del valor de luminància, degut a la reflexió del 18% del fotòmetre de la càmera.

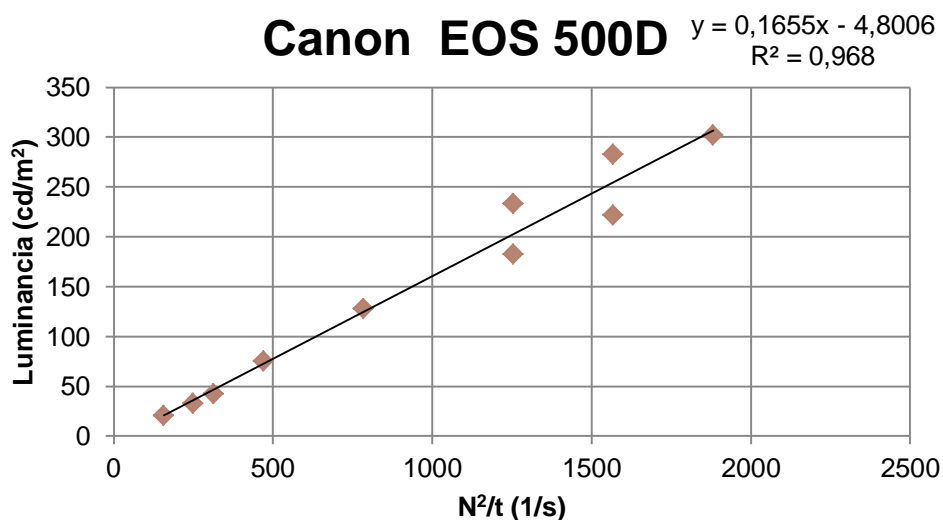


Figura 53. Representació de la luminància en funció del binomi N i t , amb la càmera Canon EOS 500D.

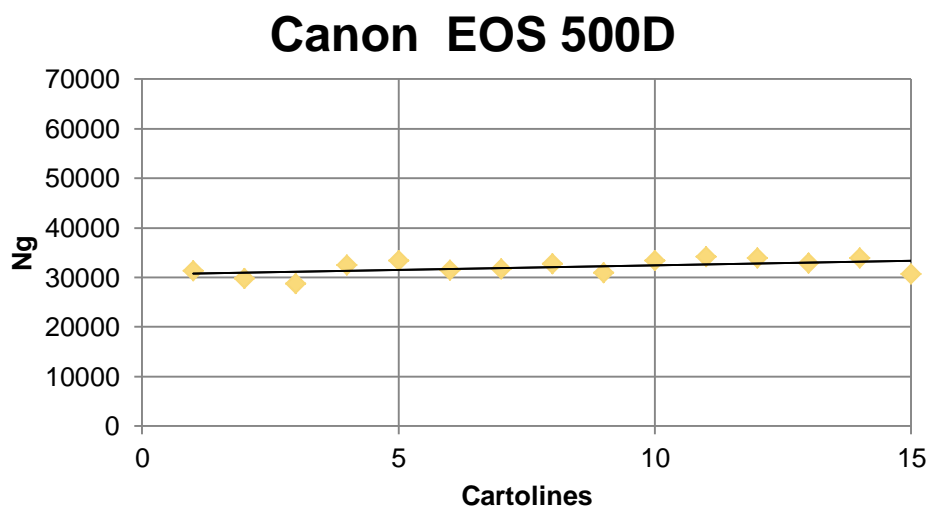


Figura 54. Representació dels nivells de gris per les diverses cartolines, segons els diferents valors N i t que indicava el fotòmetre de la càmera Canon EOS 500D al laboratori.

3.5.2. Luminància respecte N^2/t a l'exterior

En aquest apartat es comprova per a difusors lambertians perfectes la relació de la luminància i l'exposició per les càmeres Canon EOS 500D i Nikon V1, en aquest cas però les mesures es duen a terme al exterior per tal de treballar amb valors de luminància elevats.

Metodologia a l'Exterior

Les condicions d'il·luminació en el cas de l'exterior són les d'un dia assolellat per poder obtenir mesures d'il·luminació o luminància amb valors elevats.

En la càmera fotogràfica s'ha utilitzat les mateixes característiques explicades en les mesures anteriors però tenint en compte que la distància entre la càmera i l'objecte són molt separades i per tant l'augment és aproximadament zero ja que es considera que l'objecte es troba a l'infinit.

S'han col·locat les cartolines de colors a mode de mosaic en una paret il·luminada per la llum del sol com mostra la figura 55. Amb aquesta imatge es busca una escena amb diversos tons, és a dir, una imatge que contingui varis valors de luminància.



Figura 55. 15 Cartolines de colors, com a difusors perfectes en una paret al sol.

Resultats a l'exterior amb la Nikon V1

Les mesures en aquest apartat les mesures són amb prioritat apertura amb el nombre de diafragma $N=16$, la sensibilitat del sensor és $ISO=100$. L'objectiu de la càmera en aquest cas és gran angular. Les mesures de luminància s'obtenen amb el luminàncímetre Minolta SL-100.

En la figura 56, es representen els valors de luminància en funció de N^2/t . Com es pot concloure en els resultats les dades d'ajust a la recta de l'equació és $L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 373,6$ de manera que s'aproxima força a l'equació que hem obtingut en els resultats anteriors per l'escena natural (veure taula 12), però no per la del laboratori. El valor 373,6

podem dir que és proper a zero, és a dir que la recta passa per zero ja que aquest valor no és significant comparat l'escala que s'utilitza en aquest cas.

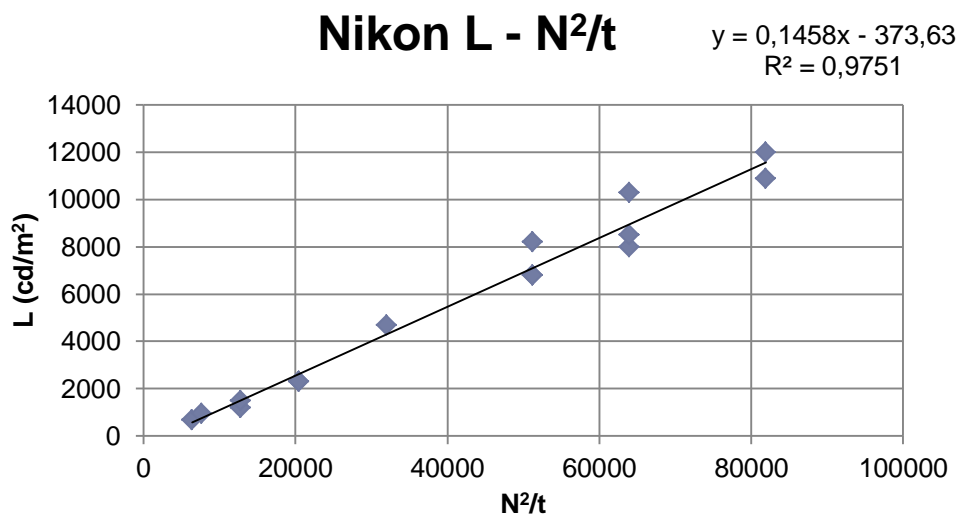


Figura 56. Representació gràfica dels valors de luminància en funció de N^2/t .

Resultats a l'exterior amb la Canon EOS 500D

Les mesures com en el cas de la Nikon V1 es duen a terme amb prioritat apertura amb el nombre de diafragma $N=16$, la sensibilitat del sensor és $ISO=100$. L'objectiu és de gran angular. Les mesures de luminància s'obtenen amb el Minolta SL-100.

En la figura 57 es representen els valors de luminància en funció de N^2/t . Com es pot concloure en els resultats les dades d'ajust a la recta de l'equació és $L = 0,16 \frac{N^2}{t} - 224,24$ de manera que s'aproxima al valor obtingut en l'escena natural, però s'allunya del resultat de les cartolines al laboratori (veure taula 12).

El valor 224,24 com s'explica en el cas anterior no és representatiu i per això diem que la recta de l'equació passa per zero.

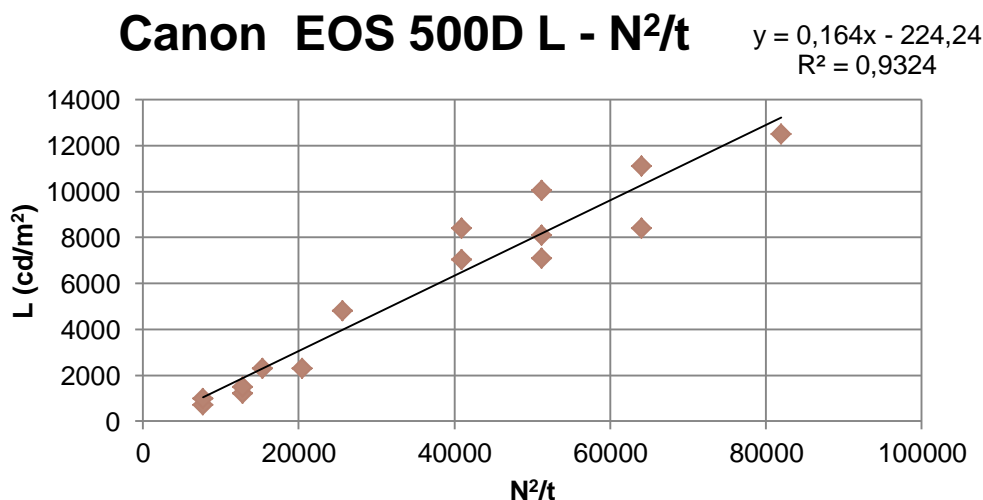


Figura 57. Representació gràfica dels valors de luminància en funció de N^2/t .

3.5.3. Comparació de les equacions que relacionen L i N^2/t

En la taula 12 s'observa com els valors de l'equació que s'ajusta a la recta en el cas de la Nikon V1 per els casos de mesures amb l'escena natural i a l'exterior coincideixen, en canvi hi ha una variació important en el valor de l'equació de les proves realitzades al laboratori.

En el cas de la Canon EOS 500D en canvi, hi ha més diversitat dels valors que s'ajusten a la recta. Els valors obtinguts en les mesures de les cartolines, és a dir, els difusors perfectes, són valors més pròxims amb una certa diferència i pel que fa a l'equació obtinguda amb les mesures a l'exterior per una escena natural la diferència és considerable.

Taula12. Comparació de les equacions que s'ajusten a les rectes de les diverses relacions de L i N^2/t .

Taula comparativa de Resultats L i N^2/t			
	Escena natural	Cartolines Laboratori	Cartolines Exterior
Nikon V1	$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 21$	$L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 4,21$	$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 373,6$
Canon EOS 500D	$L = 0,19 \frac{N^2}{t} - 23$	$L = 0,15 \frac{N^2}{t} - 4,8$	$L = 0,16 \frac{N^2}{t} - 224,2$

3.6. Relació del nivells de gris i luminància dels difusors lambertians

3.6.1. Relació del nivells de gris i luminància al laboratori

En aquest apartat es relaciona els valors de nivells de gris, de les cartolines de colors amb diversitat tonal, mesurats a través de les imatges realitzades amb la càmera Canon EOS 500D i els valors de luminància mesurats amb el luminancímetre Minolta SL-100.



Figura 58. 15 Cartolines de luminàncies diverses al laboratori, ordenades de major a menor luminància, al centre carta de gris mig Kodak.

Les mesures es realitzen al laboratori sota les condicions d'il·luminació de 3500 lux, la càmera situada al suport vertical a 82 cm, per aquest cas es selecciona el tipus de mesura puntual, de manera manual s'escull el valor de $N=5,8$ i $t=1/13$ que són els valors de l'exposició correcta.

Els resultats que s'obtenen són que el nivell de gris i la luminància tenen una relació exponencial i per tant sense no es pot obtenir el valor de luminància a partir dels valors de nivell de gris mesurats amb la càmera fotogràfica sense l'ajuda del luminancímetre No hi ha diferència entre la presa de mesures amb 8 bits (figura 59) o 16 bits (figura 60) a part de la riquesa del valors obtinguts.

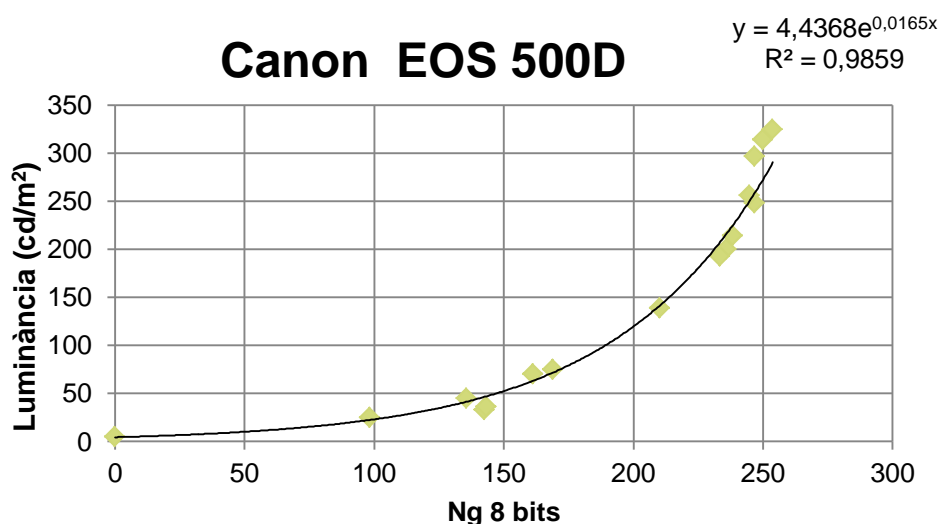


Figura 59. Relació del valors de L en funció de N_g , codificació 8 bits, al laboratori.

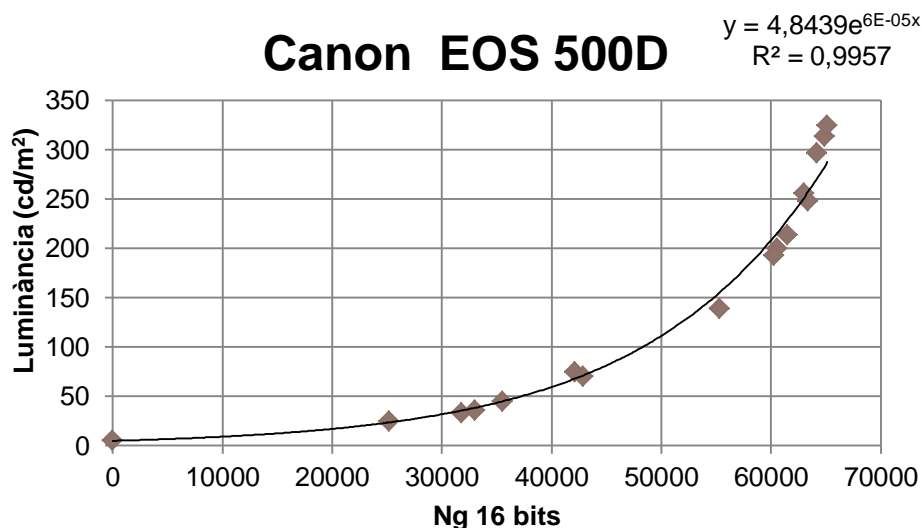


Figura 60. Relació del valors de L en funció de N_g , codificació 16 bits, al laboratori.

Per aquest segon cas les mesures estan realitzades al laboratori amb un valor de $N=5$ i $t=1/50$ escollit manualment amb mètode de mesura puntual. La càmera situada al suport vertical a 82 cm.

En el cas de la figura 61 s'han falsejat els resultats per veure com responia la corba exponencial si augmentàvem la il·luminació 3 i 5 vegades. El resultat obtingut és que la corba no varia de comportament en augmentar la il·luminació. L'error mitjà calculat a partir de l'equació $y = 25,055e^{6E-05x}$, de la relació $L-N_g$ per aquest cas és del 7%.

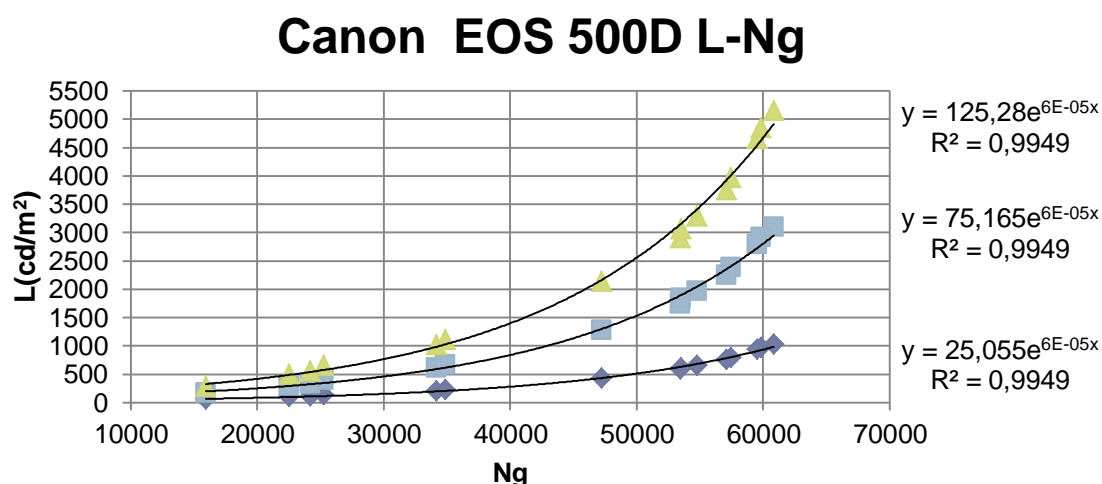


Figura 61. Resultats falsejats de la relació de mesura de luminància en funció dels nivells de gris, per diferents rangs de luminància.

3.6.2. Relació del nivells de gris i luminància a l'exterior.

En aquest apartat com en l'apartat anterior es relaciona els valors de nivells de gris, de les cartolines de colors, i els valors de luminància mesurats amb el luminancímetre Minolta SL-100 per les càmeres Nikon V1 i Canon EOS 500D.

Les característiques de les dues càmeres són prioritat apertura N=16, ISO 100 i tipus de mesura puntual. En aquest cas però les mesures es duen a terme a l'exterior amb la llum natural del sol, que és la manera d'augmentar el valor de la luminància, la presa de mesures s'ha realitzat mitjançant un mosaic de les cartolines com es mostra en la figura 55.

En les figures que estan representades a continuació es mostren els resultats de la luminància en funció dels nivells de gris, captats amb de manera que s'ajusten a la corba logarítmica per la càmera Nikon V1 (figura 62) i la Canon EOS 500D (figura 63) amb una escena a l'exterior.

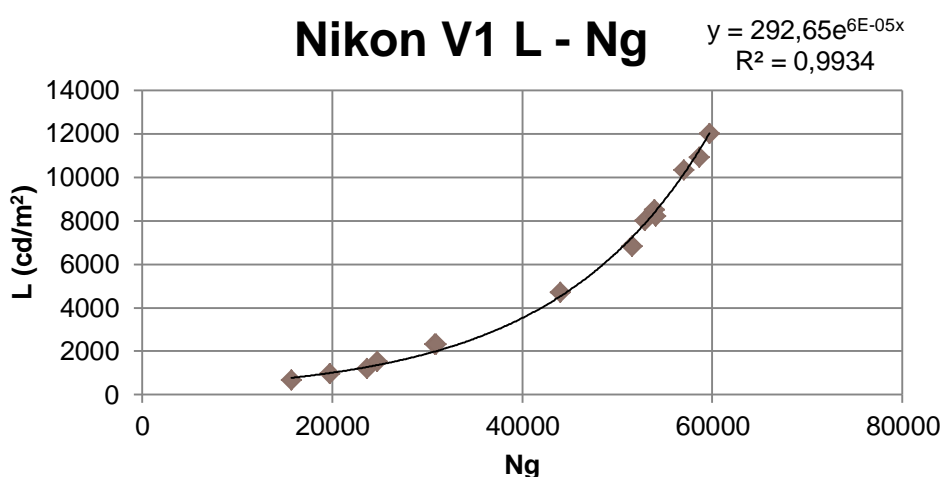


Figura 62. Representació exponencial dels valors de luminància en funció dels valors de nivell de gris per la càmera Nikon V1 a l'exterior.

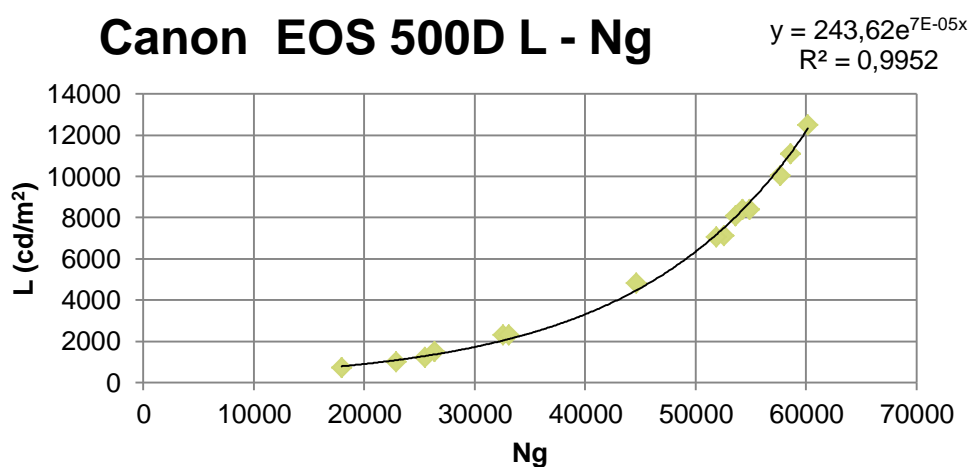


Figura 63. . Representació exponencial dels valors de luminància en funció dels valors de nivell de gris per la càmera Canon EOS 500D a l'exterior.

4. Conclusions

4.1. En relació al rang dinàmic de la càmera.

En aquest treball s'ha mesurat el rang dinàmic mitjançant la OECF de dues càmeres fotogràfiques, la Canon EOS 500D i la Nikon V1. El rang dinàmic de la càmera Canon EOS 500D s'ha mesurat de dues maneres diferents: Per transmissió de la llum a partir del test de Stouffer i per reflexió difosa de la llum a partir de la carta de gris mig Kodak. El rang dinàmic de la càmera Nikon V1 només s'ha mesurat amb l'ajuda de la carta de gris. Independentment del mètode emprat en ambdós casos el rang dinàmic d'aquestes càmeres és de 4 EV.

En relació a la mesura del rang dinàmic podem concloure que el test més senzill i a l'abast és el de la carta de gris. En primer lloc perquè aquesta és considerablement més barata que la tira Stouffer i en segon lloc perquè les condicions d'il·luminació de la carta de gris són molt menys crítiques que en el cas de la tira Stouffer (il·luminació tipus flaix i la sincronització necessària de càmera i flaix).

Els valors de les OECF obtinguts presenten el mateix aspecte ja s'hagin guardat en format RAW o bé en format JPEG. Si bé la riquesa tonal del format RAW a 16 bits és molt més gran que el JPEG (8 bits), el rang dinàmic de la càmera és el mateix independentment del format amb que es guardi la imatge.

4.2. En relació a l'exposímetre de la càmera fotogràfica

S'han realitzat mesures d'exposició mitjançant la tríada S (Sensibilitat del sensor), N (Nombre de diafragma) i t (temps d'exposició). En la majoria de les escenes s'ha fixat al valor ISO 100 i s'ha capturat les imatges amb diferents valors del binomi N , t . Les imatges s'han obtingut mitjançant les cartolines de colors que tenen diferents luminàncies.

S'ha comprovat experimentalment que els exposímetres de les càmeres analitzades, de la mateixa manera que la majoria dels exposímetres que hi ha al mercat, estan calibrats considerant que les escenes naturals presenten la reflectància del gris mig (18%). Les dades obtingudes ho corroboren tal i com es mostra en les figures 52 i 54 on, independentment de la luminància de la cartolina, l'exposició de la càmera s'adequa de manera que el valor del nivell de gris de la imatge sigui d'aproximadament 32768, el que és coneix com a gris mig, per una imatge en un format de 16 bits.

4.3. Respecte a la utilització de la càmera fotogràfica com a luminancímetre

S'han realitzat mesures d'exposició N i t , també de luminància L de superfícies lambertianes amb la càmera fotogràfica. Les condicions prèvies a tenir en compte a l'hora de fer la mesura han estat ISO= 100, amb objectiu el més tele possible i mode de mesura puntual. Les mesures s'han realitzat dins del laboratori amb llum artificial i a l'exterior amb la il·luminació del Sol. Les mesures d'exposició s'han realitzat amb les càmeres Canon EOS 500D i Nikon V1 mentre que les mesures de luminància s'han fet amb el luminancímetre Minolta LS-100. Les mesures al laboratori i a l'exterior es van fer a un conjunt de cartolines de diferent reflectància, considerades superfícies lambertianes.

Degut a les limitacions en els valors d'intensitat lluminosa de les fonts lluminoses del laboratori aquestes mesures es van tornar a fer a l'exterior amb la llum del Sol a fi d'obtenir valors de luminància més elevats.

Els resultats obtinguts amb aquestes dues fonts d'il·luminació mostren una relació lineal entre els valors de L i N^2/t . Si bé les equacions d'ajust són diferents la causa d'aquesta diferència és sens dubte la gran diferència d'escala lluminosa entre les dues preses de mesures. També s'ha mesurat la relació entre L i N^2/t en escenes naturals. El resultat també és que ambdues variables està fortament correlacionades mitjançant una relació lineal entre elles. Dels resultats obtinguts es desprèn que caldrà repetir les calibracions efectuades un determinant nombre de vegades per obtenir resultats que siguin estadísticament fiables.

L'anàlisi de l'error que es produeix entre les mesures de luminància fetes amb el luminancímetre i les mesures fetes amb la càmera mostra que el marge d'error mitjà que es comet aproximadament és del 10% o del 6%, el que permet concloure que es pot utilitzar la càmera fotogràfica com a luminancímetre si s'accepten marges d'error al voltant del 10%, en el cas de no disposar de cap luminancímetre per efectuar la mesura.

Finalment s'ha relacionat els valors de luminància amb els diferents valors de nivell de gris d'una escena. Per això s'ha mesurat l'exposició mitjançant les cartolines de colors amb diferents luminàncies i a continuació s'ha fet una presa del conjunt d'imatges amb prioritat apertura i ISO 100. Les mesures s'han pres al laboratori per la càmera Canon EOS 500D i a l'exterior per les càmeres Canon EOS 500D i Nikon V1. El resultat ha estat una relació exponencial entre la luminància i els nivells de gris de l'escena. Aquest resultat mostra una altra manera de mesurar la luminància d'un objecte a partir dels diferents nivells de la imatge amb l'ajuda del luminancímetre Minolta LS-100.

5. Bibliografia

- [1] Additive system of Photographic EXposure
http://en.wikipedia.org/wiki/APEX_system
- [2] Càmera Canon EOS 500D
http://www.dpreview.com/products/Canon/slrs/Canon_eos500d.
- [3] Canon EOS 500D Dinàmic Range
[http://www.dpreview.com/reviews/Canon EOS500D/17](http://www.dpreview.com/reviews/Canon_EOS500D/17).
- [4] Constants de calibració del luminàncímetre
http://en.wikipedia.org/wiki/Light_meter#Calibration_constants
- [5] Dietmar Wuller, Helke Gabel; *The usage of digital cameras as luminance meters*. 2007.
- [6] Elizabeth Allen, Sophie Triantaphillidou, *Manual of Photography*. 2011.
- [7] Erin M. Craine, *Preliminary Experiments Using a Digital Camera to Measure Commercial Light Sources*; Arizona.
- [8] Fotometria casera,
<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/gioq/fenopt/imagenes/fotometro/>
- [9] J. Escofet Soteras, M. Sagrario Millán García-Varela, E. Pérez Cabré, *Óptica geomètrica*; Ariel 2004.
- [10] Jeff Conrad. *Exposure Metering. Relating Subject Lighting to Film Exposure*; 1998, 2003.
- [11] M. Rossi, L. M. Gratton, and S. Oss, *Bringing the Digital Camera to the Physics Lab*; the physics Teacher 51,141 (2013).
- [12] Nikon V1
http://www.dpreview.com/products/nikon/slrs/nikon_v1.
- [13] Peter D. Hiscocks. *Integrating Sphere for Luminance Calibration*. version 1, 2011; version 2, 2012.
- [14] Peter D. Hiscocks., *Measuring Light*; version 1, 2008; version 2, 2011.
- [15] Peter D. Hiscocks, *Measuring Reflectance*, 16 september 2011.
- [16] Peter D. Hiscocks. P.Eng, *Mesuring Luminance with a Digital Camera*. Setembre 2011.
- [17] Transmission Stemp Wedges,
[http://www.stouffer.net/TransPage.htm#transmission step](http://www.stouffer.net/TransPage.htm#transmission_step).
- [18] *Using a camera as a luxmeter*,
<http://www.conservationphysics.org/lightmtr/luxmtr1.php>.
- [19] Valor d'exposició
http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_de_exposici%C3%B3n.